

L'oligocène de l'extrémité occidentale
du bassin molassique suisse
Stratigraphie et aperçu sédimentologique

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES GÉOLOGIQUES ET MINÉRALOGIQUES

PAR

Daniel KISSLING

de

Carouge

THÈSE No 1648

COLOMBIER/NE

IMPRIMERIE GESSLER & CIE

1974

La faculté des sciences, sur le préavis du professeur P. BRÖNNIMANN, directeur de thèse et d'une Commission composée de Monsieur A. BERSIER (Université de Lausanne) et du professeur C. DUCLOZ (Université de Genève) autorise l'impression de la présente thèse, sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

GENÈVE, le 18 mars 1974.

Thèse No 1648

Le Doyen : Jean MULLER



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545902_0001

L'OLIGOCENE DE L'EXTREMITÉ OCCIDENTALE DU BASSIN MOLASSIQUE

SUISSE

STRATIGRAPHIE ET APERCU SEDIMENTOLOGIQUE

PAR

DANIEL KISSLING

*"Il n'y a point d'ouvrage si
accompli qui ne fondît tout
entier au milieu de la critique,
si son auteur voulait en croire
tous les censeurs qui ôtent
chacun l'endroit qui leur plaît
le moins. "*

La Bruyère

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY

1911

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY

1911

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY



UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY
UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY

R E S U M E

L'Oligocène de l'extrémité occidentale du bassin molassique suisse est constitué de formations deltaïques très lenticulaires. Celles-ci sont en majorité composées de sédiments détritiques qui, jusqu'à présent, n'avaient livré que fort peu de fossiles. Ceci avait contraint les auteurs à n'établir que des lithostratigraphies dont les valeurs sont purement locales. La recherche systématique de fossiles a permis de découvrir de nombreux restes organiques dont les plus fréquents appartiennent aux foraminifères, mollusques, ostracodes, vertébrés et au règne végétal. Le seul groupe ayant servi à établir une biostratigraphie à valeur générale est celui des mammifères, plus particulièrement les rongeurs. Il a ainsi été possible d'individualiser les zones mammalogiques d'Antoingt, de Cournon et de Coderet, ce qui correspond à la partie supérieure de l'Oligocène moyen et à l'Oligocène supérieur. Les autres fossiles rencontrés ont permis d'inférer des conditions régnant dans le milieu de sédimentation.

Les coupes étudiées ont en outre été l'objet de diverses analyses sédimentologiques. Tout d'abord, grâce à un diagramme triangulaire, le type lithologique de chaque banc a été déterminé de manière rigoureuse. Ce diagramme triangulaire, dont les trois sommets correspondent aux trois constituants principaux définis comme : Sable, Argiles et Calcaire, est divisé en douze classes correspondant chacune à un lithofaciès type. Les répartitions des fréquences des différents lithofaciès de l'ensemble des coupes envisagées ont permis d'individualiser trois formations principales. Ces dernières sont également caractérisées par des critères paléoécologiques distincts.

Les répartitions des épaisseurs des bancs, soit globales soit par lithofaciès, les répartitions des fréquences des couleurs ainsi que la méthode des matrices des transitions ont également été utilisées. On arrive à la conclusion que ces méthodes conduisent à l'obtention de résultats à valeur purement locale, conditionnés par la position paléogéographique, et qu'elles ne peuvent être utilisées ni dans un but lithostratigraphique ni pour émettre des hypothèses sédimentologiques à valeur générale.

On conclut que, pour la subdivision des séries molassiques oligocènes, ce sont les méthodes stratigraphiques classiques, étayées d'une nomenclature lithologique cohérente, qui ont donné les meilleurs résultats.

A B S T R A C T

The Oligocene of the SW portion of the Swiss Molasse Basin consists mainly of lenticular, detritic sediments deposited in deltaic environments in which fossils are reported to be rare. The systematic search for fossils carried out during the years from 1967 to 1973 furnished foraminifera, molluscs, ostracods, remains of vertebrates and plants. However, the only fossils which proved to be of age significance are the mammals, in particular rodents, whose teeth only can be used for specific determinations. On the basis of assemblages of mammal teeth it was possible to determine the presence of the vertebrate zones of Antoingt, Cournon and Coderet, which correspond to the upper part of the Middle Oligocene and the Upper Oligocene. The other fossils proved stratigraphically inconclusive but helpful in the determination of the environmental conditions of the Oligocene deposits.

The sediments, whose main constituents are sand, clay and limestone, were analysed lithologically using a triangular diagram, which was subdivided in 12 lithologic classes each defining a particular type of lithofacies. The distribution and frequencies of these lithofacies types permitted the recognition of 3 lithologic units which are also characterised by distinct paleoecologic criteria.

No general sedimentologic theory can be presented for this part of the Molasse Basin using the distribution and frequencies of the thickness of the beds, the predominant colors, and the method of transition matrices. For the subdivision of these deltaic deposits, the classic stratigraphic methods supported by objective lithologic data, are better suited than the statistical approach.

ZUSAMMENFASSUNG

Die detritischen oligocaenen Sedimente des SW Teils des schweizerischen Molasse Beckens bestehen aus lentikulären lithologischen Einheiten, die als sehr fossilarm betrachtet worden sind. Die vom Autor in den Jahren 1967 bis 1973 durchgeführten Fossilaufsammlungen haben jedoch gezeigt, dass diese Ablagerungen häufige Fossilien enthalten, vor allem Foraminiferen, Mollusken, Ostrakoden, Wirbeltiere- und Pflanzenreste. Von all diesen Fossilien sind nur die Zähne von Säugetieren, hauptsächlich von Nagern, stratigraphisch von Bedeutung. Sie haben es erlaubt die Säugetierzonen von Antoinet, Cournon und Coderet, die dem oberen Mitteloligocaen und dem Oberoligocaen entsprechen, festzustellen. Die übrigen Fossilien sind weniger von stratigraphischem denn von palaeoökologischem Interesse.

Der lithologische Typ einer jeden untersuchten Bank wird mit Hilfe eines Dreieckdiagramms bestimmt, dessen Hauptkomponenten Sand, Ton und Kalk sind. Das Dreieckdiagramm ist wiederum in 12 Klassen unterteilt, die es gestatten 12 Lithofaciestypen zu unterscheiden. Die Verteilung und die Häufigkeit der Lithofaciestypen hat es erlaubt 3 lithologische Einheiten grösseren Massstabes aufzustellen. Diese 3 Einheiten sind auch durch besondere palaeoökologische Merkmale ausgezeichnet.

Statistische Methoden, die die Verteilung der Mächtigkeiten der einzelnen Bänke und deren Farben berücksichtigen, sowie die Methode der "Transition-Matrix" haben es nicht gestattet eine allgemeine gültige lithostratigraphische und sedimentologische Interpretation vorzulegen. Die klassischen stratigraphischen Methoden unterstützt mit objektiver lithologischer Information scheinen für die Gliederung dieser Molassesedimente immer noch die besten Resultate zu liefern.

AVANT - PROPOS

Il est d'usage, au début d'un tel travail, de placer un avant-propos dans lequel on y exprime des remerciements.

Je ne voudrais pas me soustraire à une tradition somme toute très agréable et qui permet de mesurer combien la collaboration est nécessaire dans une telle entreprise.

J'adresserai d'entrée l'expression de ma gratitude à Monsieur Paul BRÖNIMANN, Directeur du Département de Géologie et Paléontologie de l'Université de Genève, qui m'a témoigné, tout au long de mes études, une bienveillante sollicitude. C'est lui qui a accepté de prendre en charge la direction de cette thèse. A ce titre et à bien d'autres, je le prie d'accepter ici l'expression de mes vifs remerciements.

Je sais particulièrement gré à Messieurs A. BERSIER, Professeur à l'Université et à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et C. DUCLOZ, Professeur à la Section des Sciences de la Terre de l'Université de Genève, d'avoir eu la gentillesse, malgré la multiplicité de leurs occupations, de lire mon manuscrit et de m'honorer en faisant partie de mon jury de thèse.

La stratigraphie et l'écologie du Stampien seraient restés squelettiques si je n'avais pu bénéficier des connaissances approfondies que certains spécialistes ont eu l'amabilité de me faire partager. Ma dette de reconnaissance échoit principalement aux chercheurs des universités de Lyon et Montpellier.

Monsieur G. CARBONNEL, du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Lyon, a bien voulu se charger d'examiner les ostracodes. Sa grande expérience m'a été d'un secours inestimable dans la détermination des milieux de sédimentation. Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Madame M. FEIST-CASTEL, du Laboratoire de Paléobotanique de l'Université de Montpellier, s'est chargée de la détermination des charophytes et m'a aimablement fait part des remarques que lui suggéraient les assemblages rencontrés. Qu'elle trouve ici l'expression de ma vive reconnaissance.

Madame M. HUGUENEY, du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Lyon, spécialiste en paléontologie des rongeurs de l'Oligocène, a bien voulu entreprendre l'étude des mammifères. C'est à sa grande connaissance que je dois d'avoir pu établir les subdivisions stratigraphiques proposées dans ce travail. Je ne saurai assez lui témoigner ma gratitude.

Monsieur G. TRUC, du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Lyon, s'est chargé de la détermination des mollusques et m'a fait part de ses conclusions paléoécologiques.

Monsieur R. CHESSEX, du Département de Minéralogie de l'Université de Genève, m'a souvent tiré de ma perplexité devant des problèmes pétrographiques.

MM. E. RUTTE, du Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Würzburg et F.C. STINTON ont déterminé les restes de poissons fossiles et m'ont fourni d'utiles renseignements paléoécologiques.

J'ai reçu un accueil fort courtois auprès des conservateurs de plusieurs musées. Ainsi Monsieur J. HÜRZELER, du Museum d'Histoire Naturelle de Bâle, m'a reçu avec sa gentillesse coutumière et m'a initié à son "Cadastre des gisements de Mammifères fossiles". Monsieur E. LANTERNO, du Musée d'Histoire Naturelle de Genève, m'a toujours très cordialement reçu et a aimablement mis ses collections à ma disposition. Monsieur M. WEIDMANN, du Musée Géologique de Lausanne, m'a fourni d'utiles renseignements sur les faunes de vertébrés de Paudex-Belmont.

Qu'ils en soient tous très sincèrement remerciés,

Je tiens tout spécialement à exprimer ma profonde gratitude à mon maître et ami D. RIGASSI, géologue conseil à Genève. C'est lui qui m'a initié à l'art du terrain et qui m'a communiqué son enthousiasme pour les problèmes difficiles. J'ai souvent eu recours à ses conseils judicieux et je le prie de trouver ici l'expression de ma vive reconnaissance.

Madame M. BARMAN, photographe à Genève, n'a jamais ménagé son temps ni ses conseils et m'a efficacement aidé à réaliser les planches photographiques,

Monsieur A. SAVARY, responsable du Département de cartographie de PETROCONSULTANTS S.A. à Genève, a été l'artisan de nombreux agrandissements et réductions de dessins.

Mes camarades G. GORIN et R. JAN DU CHENE, assistants à la Section des Sciences de la Terre de l'Université de Genève, se sont chargés des préparations et des déterminations palynologiques, tandis que E. DAVAUD assurait l'élaboration des programmes destinés à l'ordinateur.

Je leur exprime à tous mes très sincères remerciements,

Je m'excuse auprès de Mademoiselle N. RIHS, bibliothécaire, de Messieurs J. BUVELOT, V. CORNUT, M. MULLER et P. MÜLLER, préparateurs, et P. ZBINDEN, dessinateur de la Section des Sciences de la Terre de l'Université de Genève, d'exprimer ainsi collectivement ma gratitude à leur égard pour leur collaboration technique. Qu'ils sachent cependant que si leur tâche a souvent paru ingrate, elle m'a permis de consacrer au travail scientifique le temps ainsi précieusement épargné.

Avant de clore la longue liste de tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont apporté leur aide, j'aimerais remercier mes parents qui m'ont toujours encouragé, ainsi que mon frère et ma soeur qui m'ont accompagné sur le terrain et m'ont aidé dans les fastidieuses préparations de laboratoire.

Il me reste enfin à mentionner ma femme, sans qui ce travail n'aurait peut-être jamais vu le jour. C'est elle qui, en plus de son constant soutien moral, m'a aidé financièrement au début de mes études et n'a épargné ni son temps ni ses peines pour que je puisse mener à bien la tâche que je m'étais assignée. C'est à elle, qu'en signe de reconnaissance, je dédie cet ouvrage.

1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

La région étudiée est située à l'extrémité occidentale de la vaste dépression, située entre les Alpes et le Jura, connue sous le nom de Plateau suisse. Les limites de mon périmètre d'investigations, correspondent ainsi dans trois directions à des limites naturelles. Ces dernières sont, du N à l'W: le Jura, au SW et S: le Vuache, le Salève et les Préalpes. La limite E, quant à elle est fictive et représentée par une ligne reliant Thonon à Neuchâtel.

La couverture topographique de la zone ainsi délimitée est assurée par les feuilles de la Carte nationale de la Suisse au 1:25 000 dont le découpage et la nomenclature sont donnés sur la figure 1.

Du point de vue géologique, le Plateau suisse représente le comblement d'un bassin subsident par des sédiments détritiques. Ce remplissage, véritable "montagne renversée" comme l'appelle BERSIER, résulte de l'accumulation des fragments arrachés par l'érosion aux Alpes en pleine surrection et emportés dans la basse plaine par les fleuves. Cette sédimentation déritique s'est effectuée de l'Oligocène à la fin du Miocène dans un sillon assez étroit, bordé au N par une région de terres souvent partiellement exondées qui émergeront finalement pour donner le Jura et bordé au S par les Alpes en formation. (Voir figure 2). L'ensemble de ces dédiments déposés tantôt dans des lacs ou des lagunes, tantôt dans des mers intercontinentales, constitue ce que l'on appelle la Molasse.

Les séries molassiques sont relativement minces au pied du Jura où elles représentent tout au plus quelques centaines de mètres tandis que, vers le SE, elles s'épaississent rapidement pour atteindre plus de 3000 mètres au front des Alpes. L'asymétrie du bassin est encore amplifiée par la tectonique. En effet, au centre du Plateau et au pied du Jura les séries molassiques sont peu plissées tandis que sur le bord Sud, où elles sont chevauchées par les masses préalpines, elles sont fortement disloquées et écaillées.

Les recherches faisant l'objet du présent travail ne concernent que le Stampien de la partie occidentale, relativement mince et très peu tectonisée, des séries molassiques.

La couverture par des cartes géologiques de détail est partielle et constituée par les cartes de l'Atlas géologique suisse au 1:25 000. Il existe en outre un certain nombre de monographies régionales souvent accompagnées d'une carte. L'ensemble des documents disponibles ainsi que le découpage des cartes géologiques est indiqué sur la figure 1.

2. HISTORIQUE

Mes prédécesseurs ont, à tour de rôle, donné des exposés plus ou moins complets des recherches antérieures. Il me semble inutile de faire un historique exhaustif et ceci d'autant plus que ce genre de prose a toujours un caractère assez rébarbatif. Je ne citerai donc ici que les étapes ayant été décisives pour la compréhension de la Molasse ainsi que les ouvrages importants auxquels on pourra se référer.

Il est d'usage d'attribuer à DE SAUSSURE (1779, p. 39) l'introduction du terme Molasse dans la littérature scientifique. Cependant, comme l'a déjà fait remarquer RUTSCH (1971), BERTRAND l'avait déjà utilisé dans des publications dès 1760.

Après les études très locales et n'ayant qu'un caractère historique de DE SAUSSURE (1779) et de DE RAZOUMOWSKY (1789), la première ébauche de stratigraphie est due à STUDER (1825) dans sa "Monographie der Molasse". Ses observations, complétées de celles de MERIAN (1835) vont permettre l'établissement d'une stratigraphie qui, toute question d'âge mise à part, va prévaloir très longtemps. C'est, de haut en bas, la succession suivante :

Molasse d'eau douce supérieure
Molasse marine supérieure
Molasse d'eau douce inférieure
Molasse marine inférieure

NECKER (1841, p. 375) dans ses "Etudes géologiques dans les Alpes" fait une subdivision dans la "Molasse d'eau douce" (inférieure) en introduisant le terme de "Molasse rouge" pour la base de la série, alors que la partie supérieure est caractérisée par la présence de calcaire et de gypse. En 1853, STUDER, dans sa "Geologie der Schweiz", rassemble toutes les observations éparses et donne une vue d'ensemble ainsi qu'une description région par région.

Les auteurs suivants s'attacheront à faire des corrélations avec les dépôts tertiaires des pays avoisinants pour tenter de donner des âges aux séries molassiques suisses. ROLLIER (1910-11) donne un excellent résumé des travaux et des progrès effectués pendant cette période

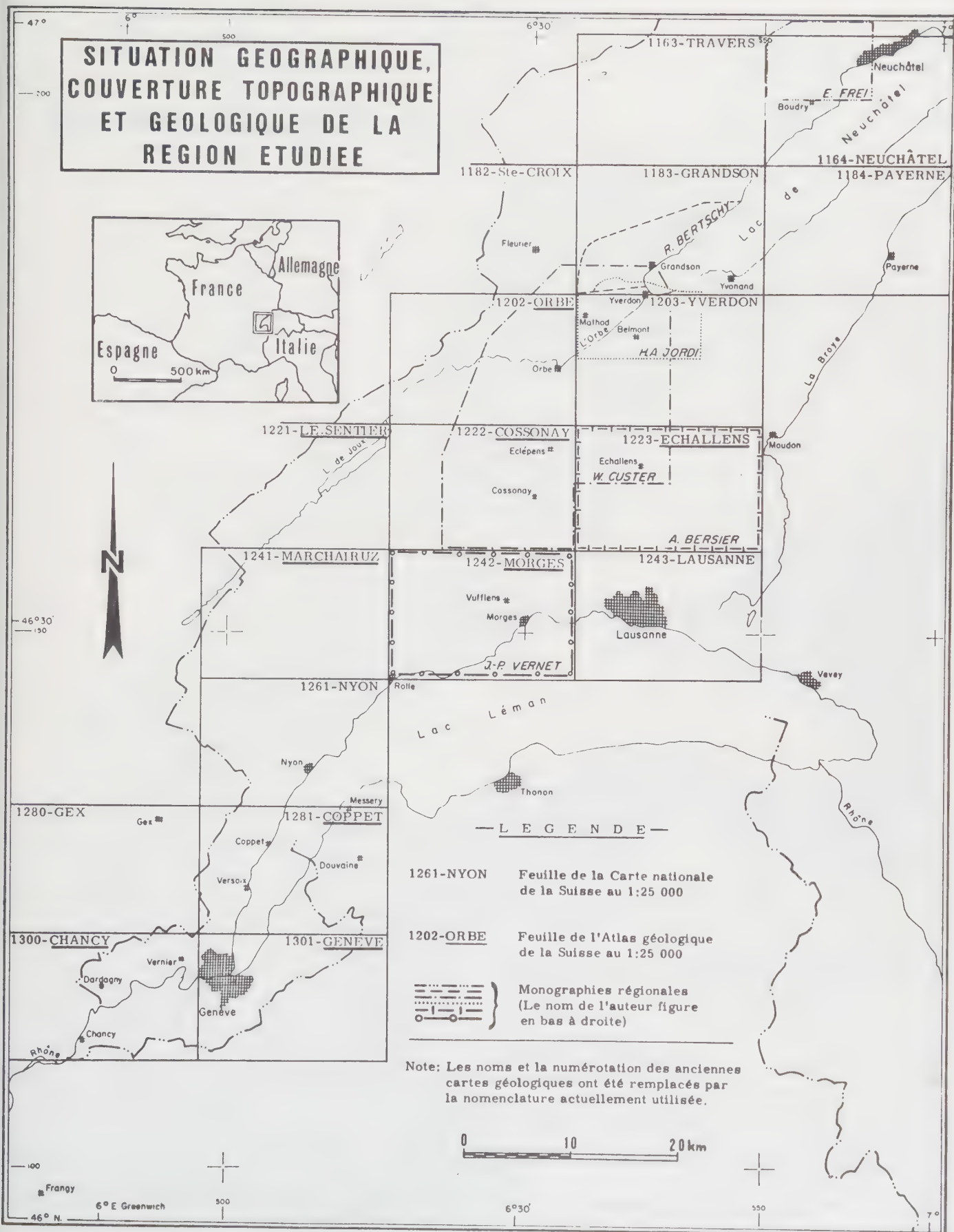


Figure 1

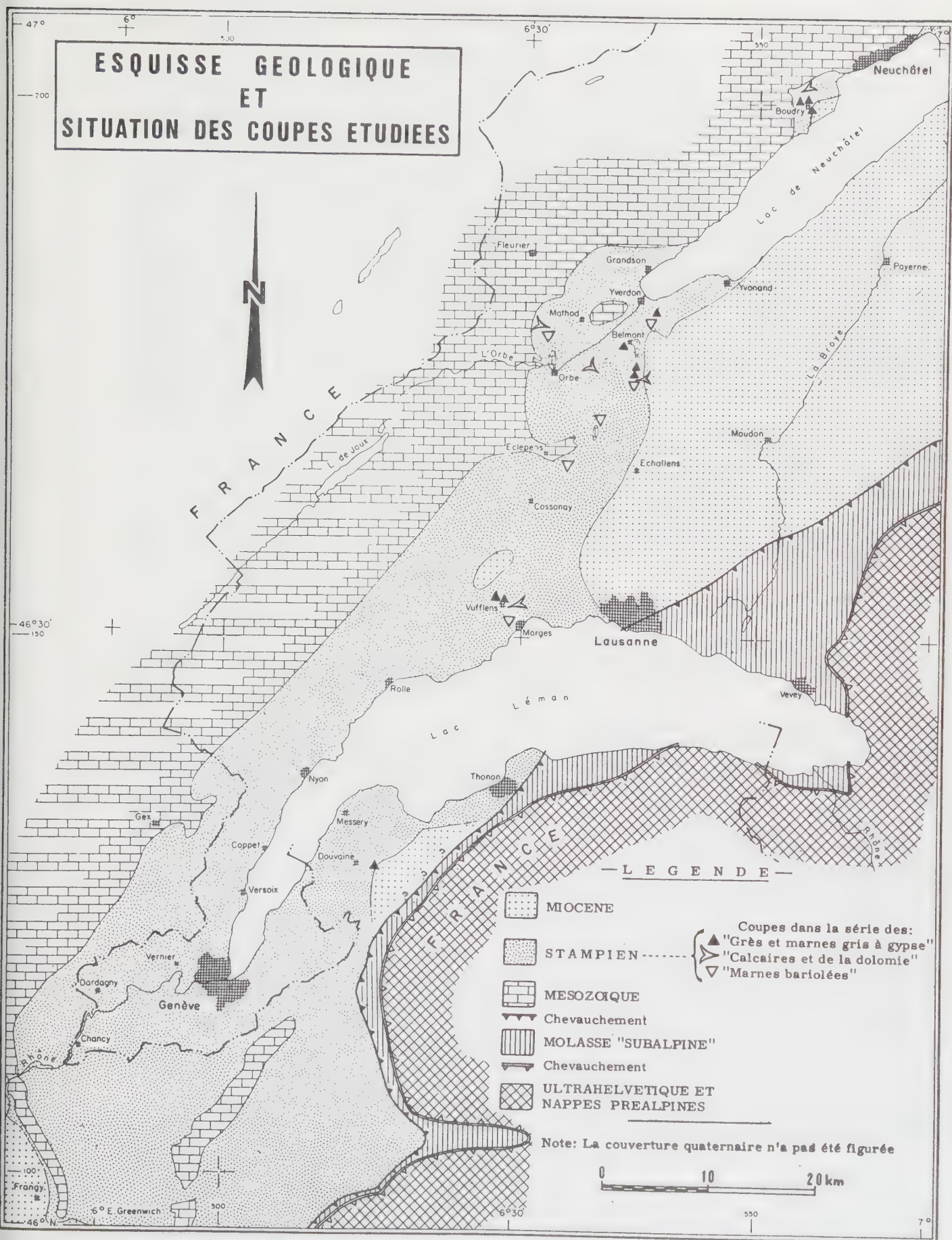


Figure 2

et introduit dans la stratigraphie de la Molasse oligocène suisse les subdivisions suivantes :

OLIGOCENE	{	Aquitaniien
	{	Stampien
	{	Tongrien

C'est ainsi que le terme Stampien faisait son apparition dans la littérature helvétique.

CUSTER (1928), dans son "Etude géologique du pied du Jura vaudois", va compléter la nomenclature stratigraphique. C'est à lui que nous devons l'introduction du terme judicieusement choisi de "Grès et marnes à gypse" pour désigner la partie supérieure du Stampien. Cette dénomination claire sera hélas bientôt abandonnée par les auteurs suivants au profit d'expressions prêtant fort à confusion telles que "Marnes grises à gypse" (LAGOTALA, 1937; ALTHAUS, 1947, etc) ou même simplement "Marnes gypsifères" (VERNET, 1956) alors que les bancs de grès sont très fréquents, parfois même prédominants dans cette série. C'est aussi à CUSTER (1928, p. 32) que nous devons l'introduction, peu judicieuse celle-là, du terme Chattien pour désigner la partie supérieure du Stampien. En effet, parlant d'une coupe près du stand de tir de Suchy, il conclut: "La couche No 3 est pétrie de restes indéterminables d'organismes. La détermination de cette faune naine d'eau douce et saumâtre mal conservée est presque impossible. On y constate des restes de *Limnées* et de *Hélices*. Le seul fossile typique et bien conservé est *Helix* (*Plebecula*) *Ramondi*, Brongt., caractéristique du *Chattien*". L'utilisation de ce terme avait déjà été faite par BAUMBERGER (1927, p. 563) qui subdivisait ainsi le *Stampien* : "Den untern, marinen Komplex (Meeressand und Septarienton) fasse ich, wie üblich, als *Unterstampien* (*Rupélien*) den obern (Glimmermolassen) als *Oberstampien* (*Chattien*) auf, teilweise in Abweichung von der Auffassung früherer Autoren."

Le type du Chattien a été pris par FUCHS (1894) dans les sédiments marins du bassin de Kassel. Son utilisation doit donc être exclusivement limitée à la stratigraphie des séries marines. Cependant, dès CUSTER, c'est l'usage abusif de ce terme pour caractériser des séries de sédiments d'origine fluvio-lacustre et continentale qui va prévaloir et se généraliser. Il faut cependant noter que certains auteurs ont employé le nom de Chattien avec prudence, si ce n'est même avec réticence. Ainsi BERSIER fait toujours figurer Stampien en face de Chattien. JORDI (1951, 1955) le met entre parenthèses car il utilise, pour la stratigraphie du Tertiaire, une subdivision basée sur les mammifères.

Après une longue période creuse, nos connaissances sur les séries molassiques devaient, dès 1936, faire des progrès considérables grâce aux travaux de BERSIER. Cet auteur, travaillant d'abord sur le Jorat, devait bientôt élargir son champ d'investigations et faire des comparaisons avec les bassins houillers. Les résultats de ses observations lui permettaient d'émettre des hypothèses sur les conditions de sédimentation et le mode de dépôt de ces séries à la fois si monotones dans l'ensemble, mais si variées dans le détail.

Après l'étude de BERSIER sur le Jorat, il faut attendre 1952 pour qu'un travail régional relativement important voie le jour. C'est celui de RAMSEYER sur la Molasse aquitanienne et burdigalienne du Mont Vully. Cet auteur, comme nous le verrons plus loin, est le premier à utiliser une nomenclature cohérente pour la dénomination des divers lithofaciès des séries molassiques. En 1955, JORDI consacre une bonne partie de son travail sur la géologie des environs d'Yverdon à l'étude des séries tertiaires. La découverte de quelques gisements de mammifères lui permet de compléter l'inventaire établi par HÜRZELER (1940, 1945) et de confirmer l'âge Stampien supérieur de la série des "*Marnes grises à gypse*" ainsi que de la partie supérieure de la "*Molasse rouge*". JORDI subdivise, du point de vue lithologique, ces deux séries en un grand nombre de "formations" et "membres". Certains de ces termes n'ont souvent qu'un intérêt local à cause de l'extrême variabilité des séries molassiques.

En dehors de ces travaux régionaux, il faut mentionner des études, à caractère synthétique, intéressant des zones plus vastes. Il s'agit d'études, en partie de compilation, dans l'optique de la prospection pétrolière. Le premier de ces travaux est dû à HEIM et HARTMANN (1919) et concerne le Plateau molassique suisse en entier. Les études d'ALTHAUS (1947) concernent plus particulièrement notre région. La première de ces études est un résumé stratigraphique et tectonique de la Molasse entre Genève et Neuchâtel. Elle est accompagnée d'une carte au 1:50 000. La seconde, d'intérêt très régional, ne concerne que le canton de Genève.

Le dernier travail à mentionner est celui de RIGASSI (1957). C'est aussi un travail de synthèse mais dans lequel les conclusions sont presque uniquement basées sur des levés personnels. La découverte de faunes de mammifères dans la *Molasse rouge* confirme son âge compris entre le sommet du Stampien moyen et la base du Stampien supérieur.

Comme je l'ai déjà dit au début de ce chapitre, cette énumération ne représente qu'un survol des principaux travaux concernant la région étudiée. Au cours des pages qui suivent, et au fur et à mesure des nécessités, je citerai les études plus restreintes ou plus spécialisées, les replaçant ainsi dans leur contexte.

3. DEFINITION DU TERME MOLASSE

Dans les dialectes de Suisse occidentale, de Savoie et du Dauphiné, le terme Molasse était utilisé principalement par les carriers pour désigner des bancs de grès, souvent micacés, à ciment calcaire ou marneux. L'introduction de ce substantif, issu du langage populaire, dans la littérature géologique, a contribué à créer une certaine confusion.

L'éthymologie du terme Molasse est fort controversée. Elle viendrait du mot latin *molare* qui signifie moudre. Mais cette manière de voir se trouve en face de deux interprétations diamétralement opposées. Soit la Molasse est une roche suffisamment résistante pour être utilisée pour fabriquer des meules, soit sa cimentation relativement faible fait qu'elle peut être réduite en sable, donc moulue. Dans tous les cas ce terme s'écrit donc Molasse et l'orthographe Mollasse, introduite plus tard avec un sens péjoratif pour désigner une roche molle, du latin *mollis*, ne devrait pas être prise en considération et cela d'autant plus qu'elle représente un contresens évident. En effet, les bancs de grès, ou molasse, utilisés par les carriers sont généralement des roches plus dures que les autres sédiments de la série.

Le terme Molasse est donc devenu un synonyme de grès et l'on a dès lors parlé de molasse marneuse, molasse sableuse etc... STUDER (1825), utilise ce substantif comme représentant d'une part un type pétrographique et d'autre part une entité géologique : "die Molasse-Formation", qui devient bien vite, par simplification, die "Molasse". L'usage allait très vite consacrer cette double acception. CAYEUX (1929), dans son grand ouvrage sur les roches sédimentaires, souligne l'utilisation ambiguë du terme Molasse désignant aussi bien un complexe de dépôts qu'une roche et ne considère que cette dernière. Il restreint donc l'emploi du terme à la définition d'un type pétrographique de grès. Ce dernier est caractérisé par la forte proportion de feldspaths et la présence d'un ciment calcaire, rarement calcaréo-argileux et jamais, semble-t-il, argilo-calcaire. A cette définition pétrographique stricte, l'auteur mêle des critères plus subjectifs tels que le toucher rugueux, l'aspect mat et la faible consolidation de la roche.

Dépasant très vite le cadre géographique où il avait été créé, ce terme a été utilisé pour désigner des types lithologiques très différents, comme par exemple, les calcarénites miocènes de Provence dont certaines, comme la "Pierre de Fontvieille" et la "Pierre des Baux", peuvent contenir jusqu'à 95% de calcaire.

La confusion atteignait son paroxysme dès l'instant où certains géologues utilisèrent ce mot comme synonyme de Miocène, voire Tertiaire.

Il s'agit maintenant pour nous, si l'on veut pouvoir travailler rationnellement, de définir une fois pour toutes l'acception du terme Molasse et de s'y tenir. Il semble que le sens restreint à un type lithologique, bien qu'historiquement conforme, doive être abandonné au profit de celui, plus large, d'une série de sédiments. Comme on l'a déjà admis pour le Flysch, cette série doit être définie, en plus des termes lithologiques rencontrés, par les conditions et l'époque de dépôt au cours de l'histoire sédimento-tectonique d'une région. Une définition se doit cependant d'être assez concise et générale et on ne peut y introduire toutes les caractéristiques souvent très particulières. Ainsi, on remarquera, par exemple, qu'il n'est fait aucune mention des séquences et cycles si bien décrits par BERSIER. Ces phénomènes, découlant d'une part du concept de subsidence et d'autre part de celui de sédimentation fluviale sont donc implicitement compris dans la définition.

Cette définition de la Molasse peut s'énoncer ainsi : série de sédiments presque exclusivement détritiques, d'origine en partie fluvio-lacustre et continentale, en partie marine intra-continentale, déposés dans une phase post-paroxysmale à tardiorogénique dans un bassin subsident en position exogéosynclinal.

4. METHODES D'INVESTIGATION SEDIMENTOLOGIQUE

4.1 Introduction

Dans ce chapitre seront présentées les diverses étapes de l'analyse sédimentologique. D'une manière générale, les différentes méthodes données ici peuvent convenir à l'étude de toute série détritique de style molassique. Dans mon cas, ces méthodes ont été appliquées aux sédiments stapiens échantillonnés sur des coupes de terrain selon la méthode du banc à banc. Les résultats obtenus permettent de penser que ce genre d'analyse sédimentologique peut aussi être appliqué avec profit aux sédiments recueillis en sondage. Dans ce cas, les prises d'échantillons devront être effectuées à intervalles assez rapprochés.

L'organigramme des différents traitements et études est donné à la figure 5.

4.2 Nomenclature lithologique

Les sédiments molassiques étant, dans le détail, d'une grande diversité, la nomenclature utilisée par les différents auteurs fourmille de termes variés, dont certains désignent souvent les mêmes types lithologiques. En effet, ce qui retient le plus l'attention de l'observateur, ce ne sont pas les caractères principaux mais souvent, au contraire, les éléments mineurs et accessoires.

Ainsi, dans une même coupe décrite par différents auteurs, il est souvent difficile, en l'absence de types lithologiques particuliers tels que les calcaires ou les minces lits d'argiles noires, de pouvoir faire les corrélations de niveau à niveau.

Conscient de ce problème, BERSIER (1938), dans son étude du Jorat, définit 14 types lithologiques. Mais ses critères de différenciation ne sont pas constants. Ainsi, pour certains types, c'est le pourcentage de calcaire qui est utilisé, pour d'autres c'est la granulométrie, pour d'autres le fait que les éléments détritiques sont classés ou non, pour d'autres enfin, c'est la couleur. Un type est même défini par la présence de débris végétaux.

Plus tard, VERNET (1956), dans son étude de la région de Morges, définit 7 types lithologiques, mais ce nombre trop restreint l'oblige bien souvent à adopter une nomenclature plus diversifiée dans ses descriptions de coupes. Avant lui cependant, RAMSEYER (1952) avait été préoccupé par l'idée de donner une classification objective des divers types de sédiments molassiques. Sa classification se basait sur les proportions relatives des fractions sableuse et argileuse par rapport au pourcentage des carbonates. A l'aide d'un diagramme triangulaire, l'auteur définit 13 types lithologiques. Cette classification confère cependant des importances inégales aux différents constituants (voir figure 3a). En effet, les limites des classes sont tracées, dans un sens, suivant le rapport des pourcentages Sable (résidu détritique) et, dans l'autre sens, suivant le pourcentage de Carbonates. Argiles + Silts
Ceci conduit à des classes lithologiques dont les surfaces, sur le diagramme triangulaire, sont très différentes. Par conséquent, leurs importances relatives différeront également sensiblement.

Dans son travail sur la région d'Yverdon, JORDI (1955) a, lui, aussi, utilisé les pourcentages de Sable, Argiles et Carbonates, Seulement, tout en citant RAMSEYER, il fait figurer les résultats de ses analyses dans un diagramme triangulaire avec la précaution de ne pas tracer de limite entre les différentes classes. Il ne conserve ainsi que 12 classes par simplification de la nomenclature des termes gréseux.

Cependant, la figure 9 de JORDI (1955, p. 28) indique qu'il tient compte des pourcentages et non pas des rapports entre ces derniers.

Les composants principaux des sédiments molassiques ayant été ainsi définis par nos prédécesseurs, nous avons cherché à proposer une classification donnant à chacun d'eux la même importance. Pour ce faire, nous avons repris la classification donnée par TREFETHEN (1950) en modifiant simplement la numérotation des lithofaciès pour l'adapter à un ordre plus logique dans les séries molassiques (figures 3b et 4). Les rigoristes nous reprocheront peut-être, comme ils l'ont déjà fait (BERNSTEIN, 1961), l'apparition de lignes obliques aux lignes d'isoteneur, mais notre but était l'introduction d'une classification alliant une certaine précision à la simplicité d'emploi.

A part les trois classes des sommets du triangle, qui représentent les termes purs, les autres classes ont des surfaces presque égales, donc des importances relatives équivalentes. On remarquera que le champ des calcaires a une limite à 15% d'impuretés alors que, pour les grès et les argiles, elle est à 20%. Ceci vient de ce que TREFETHEN avait, en établissant sa classification, tenu compte de certaines exigences de pureté relatives à l'utilisation industrielle des sédiments.

La nomenclature elle-même n'appelle pas de remarque puisqu'il s'agit simplement de mots composés, utilisant les noms des trois constituants de base. Pour les classes 8 et 11 cependant, nous avons utilisé le terme "Marne" dont le type, constitué par une égale quantité de calcaire et d'argile, se trouve être à la limite de ces deux classes.

Nous développerons, dans le chapitre sur la série des "Calcaires d'eau douce et de la dolomie", la classification et les méthodes d'études des calcaires.

Pour les classes 2 à 8, la proportion de sable et d'argile détermine la structure du sédiment, le carbonate représentant le ciment. Pour les classes 9 à 12, le sable et les argiles ne constituent plus que les impuretés contenues dans la phase carbonatée.

Comme on le verra, seuls de très rares échantillons n'ont pas trouvé place dans cette classification car ils comportaient un quatrième composant. Ce sont des grès, plus ou moins argileux et calcaires, dont le ciment est du gypse et des conglomérats.

NOMENCLATURES DES LITHOFACIES

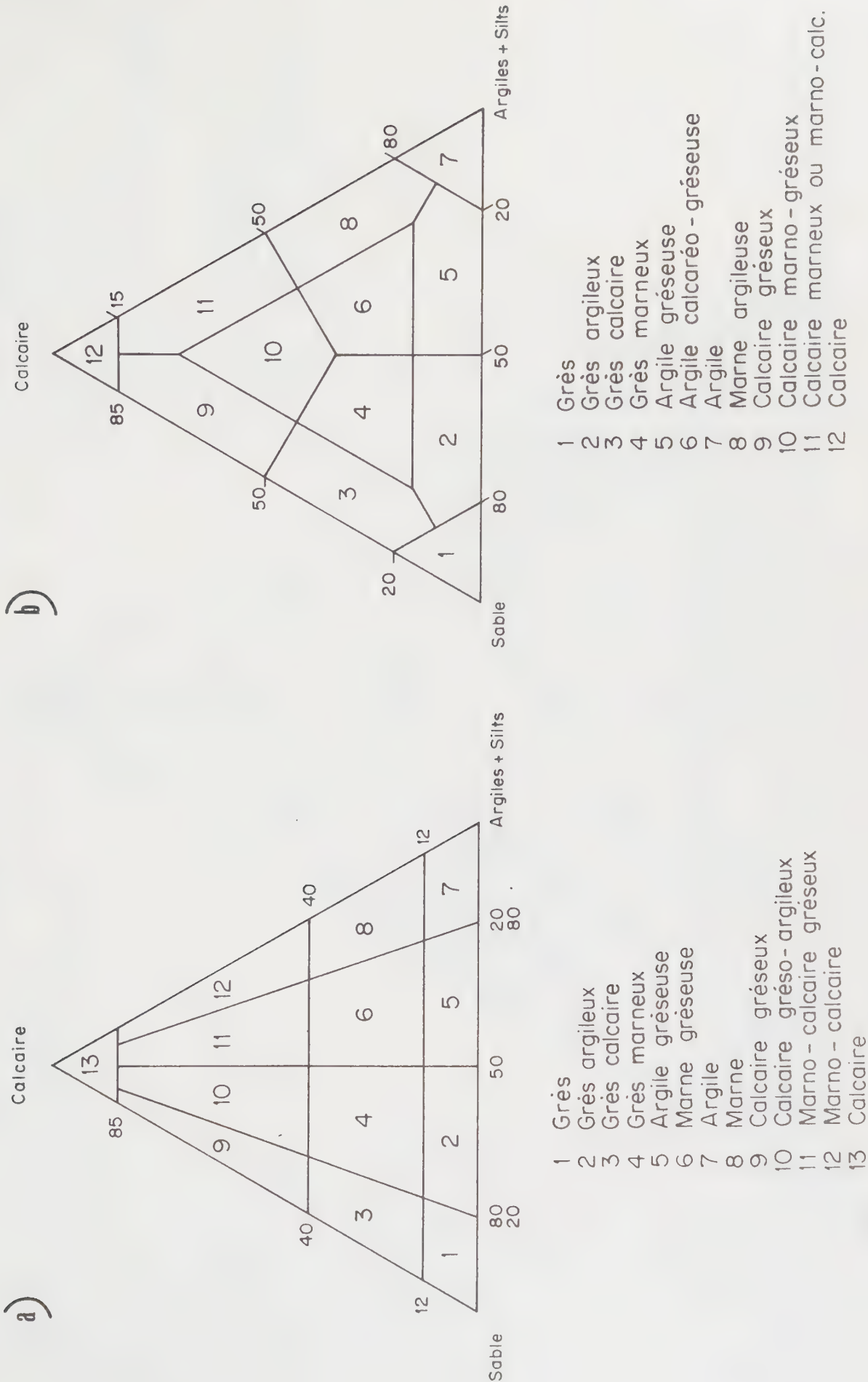


Figure 3

NOMENCLATURE & SYMBOLES DES LITHOFACIES

- 1 Grès
- 2 Grès argileux
- 3 Grès calcaire
- 4 Grès marneux
- 5 Argile gréseuse
- 6 Argile calcaréo-gréseuse
- 7 Argile
- 8 Marne argileuse
- 9 Calcaire gréseux
- 10 Calcaire argilo-gréseux
- 11 Calcaire marneux
- 12 Calcaire

CALCAIRE

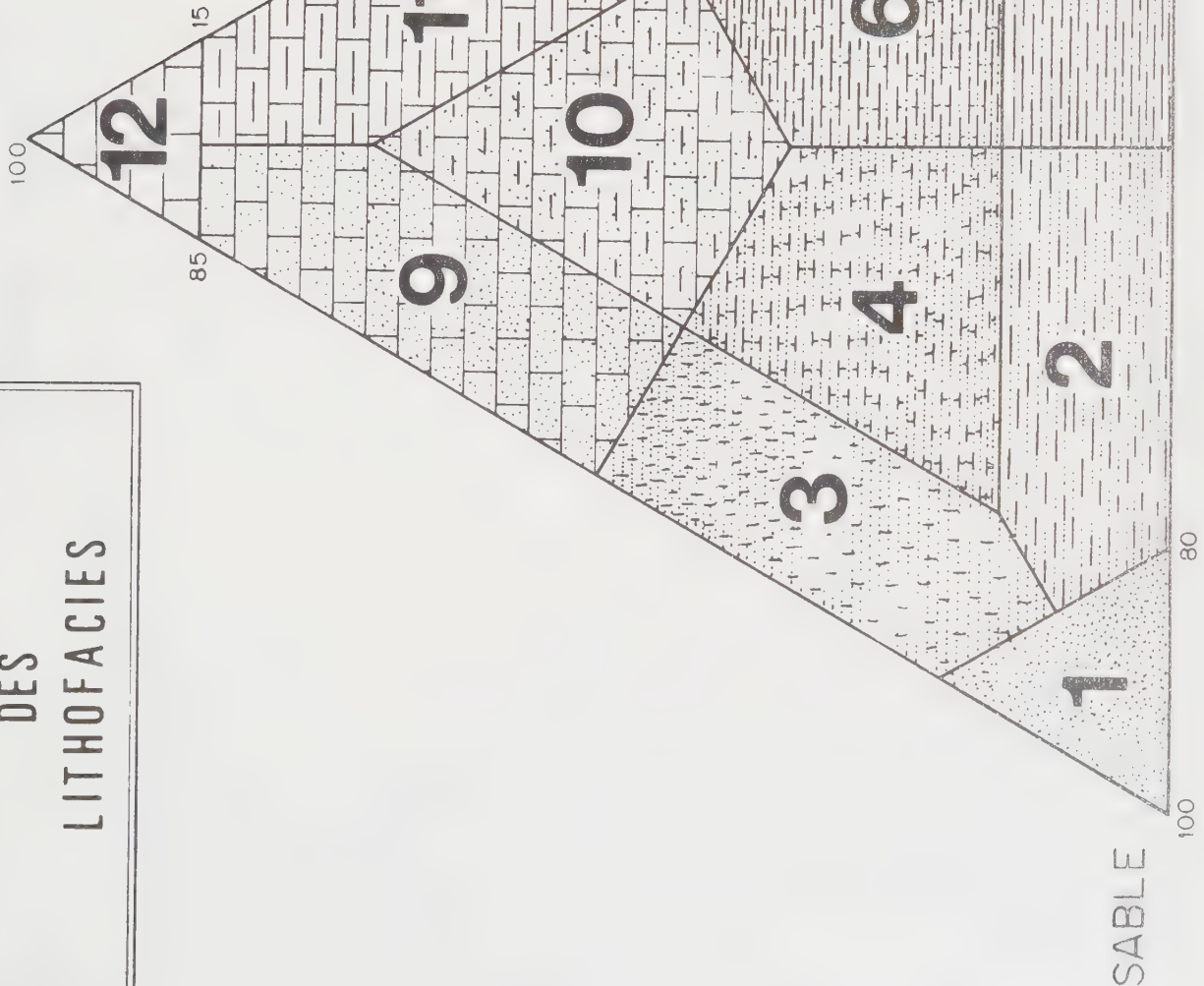


Figure 4

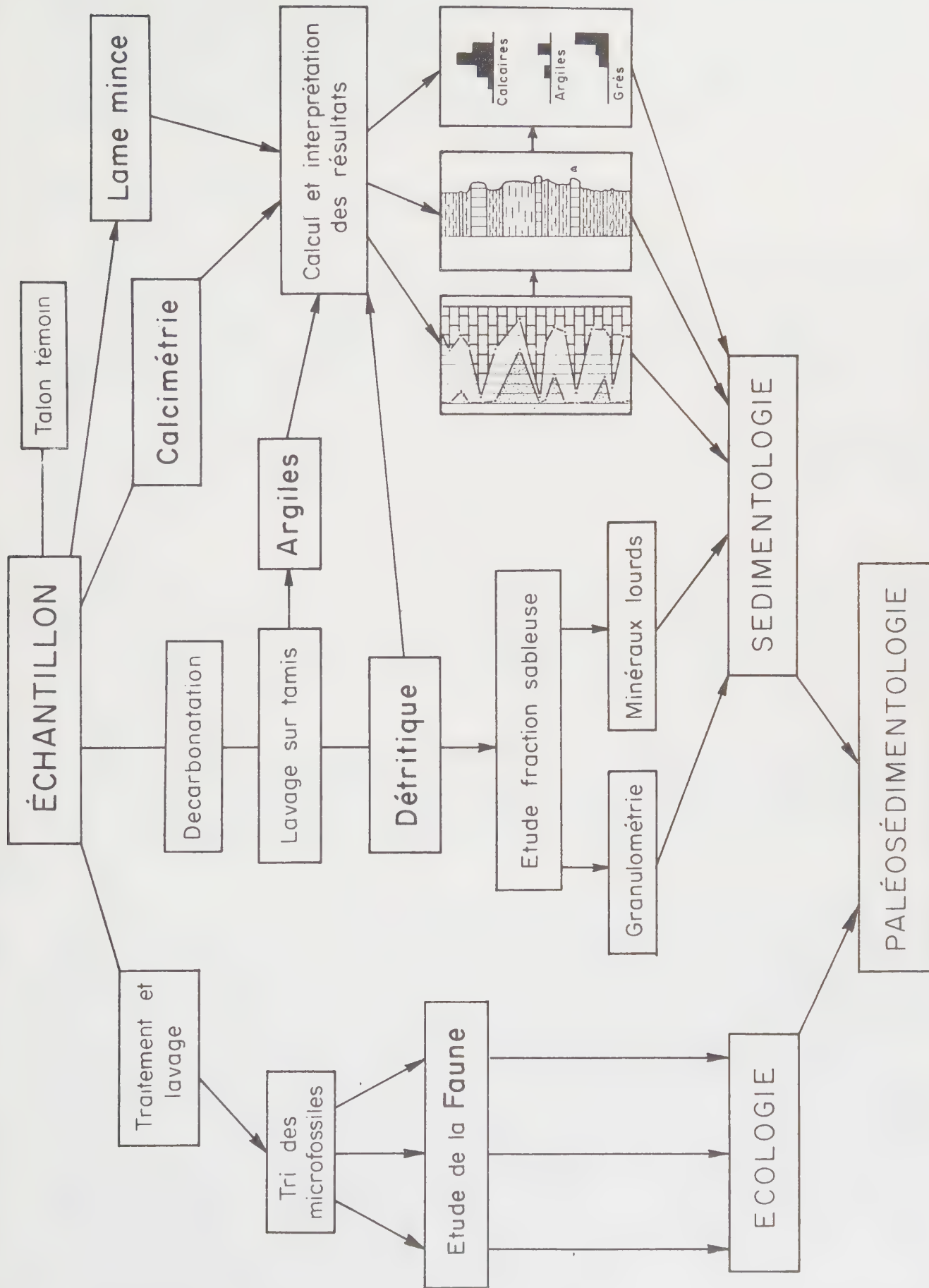


Figure 5

4.3 Echantillonnage

La densité de l'échantillonnage dépend évidemment de la fréquence et de la diversité des lithofaciès. Dans tous les cas j'ai pris un échantillon par banc. Dans le cas des bancs minces, l'échantillon représente l'épaisseur totale du banc. Pour les bancs épais, j'ai pris un échantillon moyen constitué par des prises ponctuelles régulièrement espacées sur toute la hauteur du banc. En moyenne, j'ai prélevé un échantillon tous les 50 cm. Lors de l'échantillonnage, la partie superficielle et altérée de la coupe a été enlevée afin de prélever des sédiments aussi frais que possible. Chaque échantillon représente au moins 300 g de sédiment destiné aux diverses analyses sédimentologiques ainsi qu'aux préparations micropaléontologiques. Pour la recherche des vertébrés, les échantillons ont été pris séparément puisqu'ils nécessitent au moins 30 kg de sédiment.

4.4 Méthodes de détermination des principaux composants

4.4.1 Sable

Par un quartage simplifié, on prélève au moins 30 g de sédiment que l'on concasse en fragments de 5 mm de diamètre environ et que l'on met sécher à l'étuve à 90°C pendant 12 heures.

Au sortir de l'étuve, on prélève 5 g qui serviront pour la calcimétrie, le reste du sédiment est ensuite pesé sur une balance de précision donnant le 0,01 g, puis attaqué à HCl 1/5 N environ, à froid d'abord, puis à chaud, lorsque la réaction diminue d'intensité. On rince ensuite soigneusement plusieurs fois à l'eau chaude pour éliminer toute trace d'acide, puis on lave sur tamis à maille de 0,05 mm.

C'est en effet 0,05 mm que nous avons adopté comme limite de taille granulométrique entre les sables d'une part et le groupe des Argiles+Silts d'autre part. On poursuit le lavage jusqu'à disparition complète de la fraction argileuse puis on récupère la fraction sableuse que l'on met à sécher à l'étuve à 110°C pendant 8 heures. On pèse ensuite le résidu sec qui va nous donner le pourcentage de sable.

4.4.2 Calcaire

Les 5 grammes prélevés avant l'opération précédente sont broyés très finement. On pèse ensuite 1 gramme que l'on fait réagir avec HCl dans le calcimètre BERNARD (Calcimétrie par volumétrie). C'est le volume de CO₂ dégagé qui nous permet de calculer le pourcentage de carbonate. Dans le cas assez rare de grès à éléments détritiques calcaires nombreux, des comptages en lames minces ont permis d'évaluer leur pourcentage, qui a ainsi pu être soustrait de la valeur obtenue par calcimétrie et rajoutée au pourcentage détritique.

4.4.3 Argiles + Silts

La nomenclature utilisée ne faisant intervenir que le pourcentage d'éléments de taille inférieure à 0,05 mm, j'ai groupé la classe des Silts avec celle des Argiles. Dans la suite de ce travail, afin d'alléger le texte et les figures, ce groupement de classes sera désormais compris sous le terme d'Argiles. Leur pourcentage est déterminé par différence en soustrayant de 100 les pourcentages de Sable et de Calcaire obtenus précédemment.

4.4.4 Gypse

Lors de l'attaque à l'HCl pour la détermination du pourcentage de Sable, le gypse éventuellement contenu dans la roche a été dissous et entraîné sous forme de solution lors du lavage. Lorsque la teneur en gypse est inférieure ou égale à 5% environ, nous n'en avons pas tenu compte. En effet, les variations latérales à l'intérieur d'un banc sont souvent égales, voire même supérieures à 5%. Au-dessus de cette valeur, il nous a fallu procéder à une opération supplémentaire : la calcimétrie par double pesée. Comme lors du calcul du pourcentage détritique, on prend environ 20 g de l'échantillon concassé puis séché à l'étuve. On le pèse très exactement avant de l'attaquer à l'HCl. Lorsque l'attaque est terminée, on effectue plusieurs décantations et rinçages successifs à l'eau chaude en espaçant les décantations d'au moins deux heures pour permettre aux argiles de se déposer. On prend garde lors de ces décantations qu'aucune partie de la fraction argileuse ne soit emportée. Lorsque toute trace d'acide a disparu on décante une dernière fois avant de sécher à l'étuve puis on pèse le résidu sec. La différence entre la pesée initiale et la pesée finale représente approximativement la quantité de Calcaire + Gypse. Connaissant la proportion de Calcaire par la calcimétrie par volumétrie, on déduit par différence la proportion de Gypse. Cette méthode ne donne évidemment que des valeurs approchées, mais elle est suffisante pour le but que nous nous sommes fixé.

4.4.5 Représentation graphique et discussion des résultats

Dans l'étude d'une coupe stratigraphique, on procède de la manière suivante :

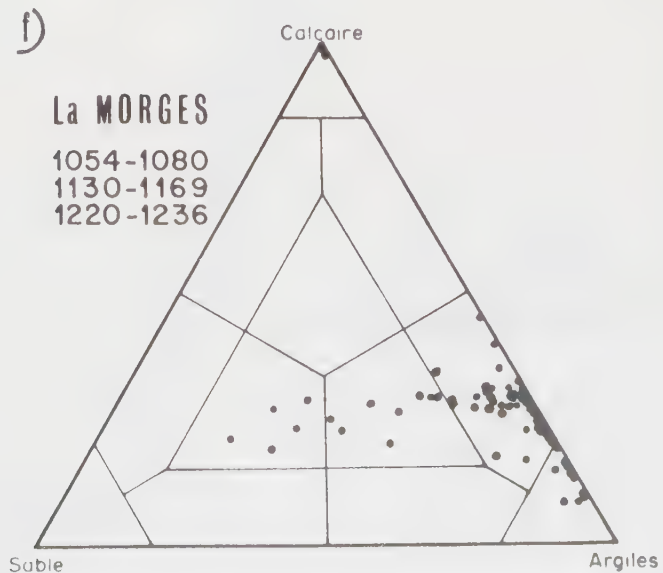
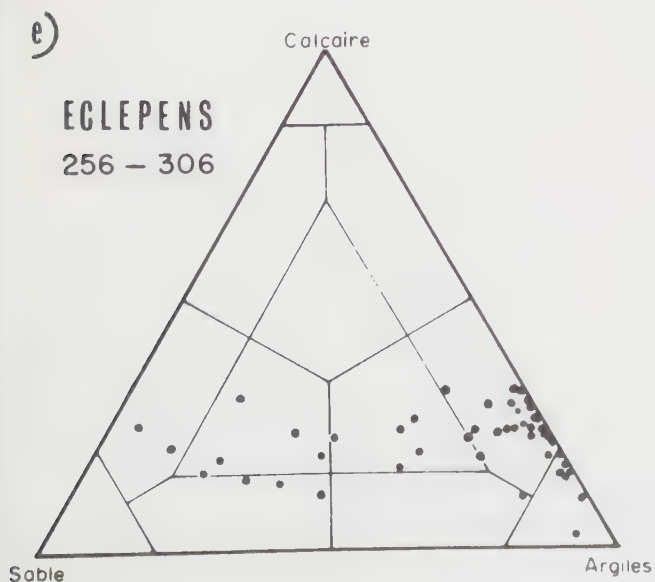
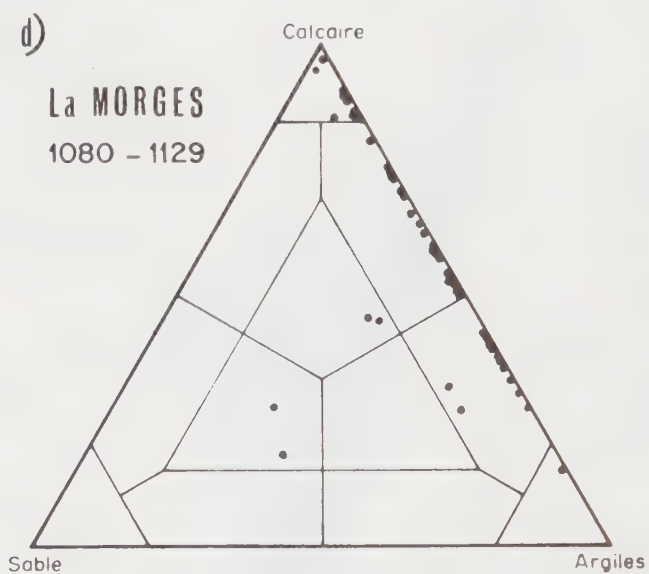
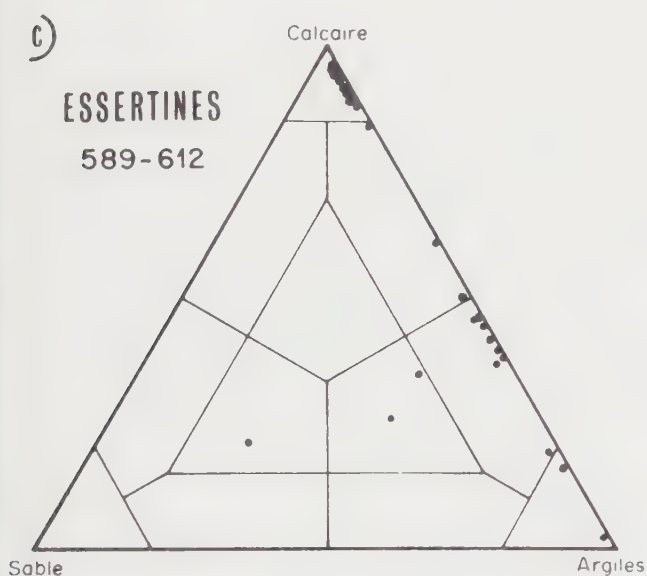
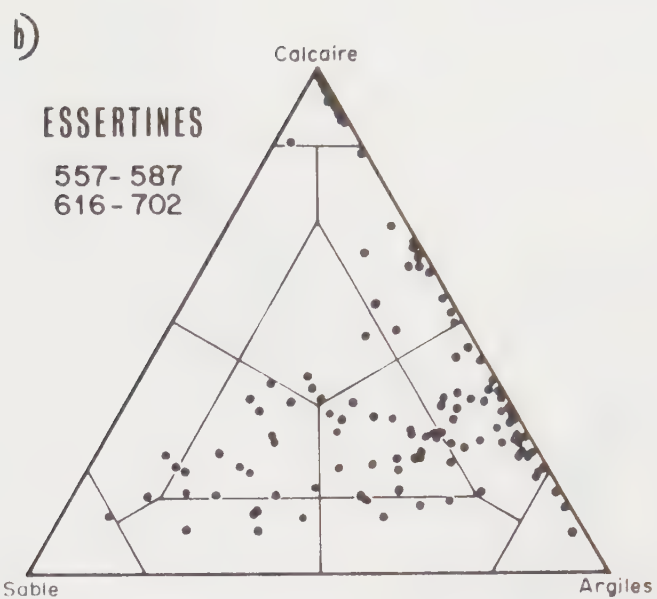
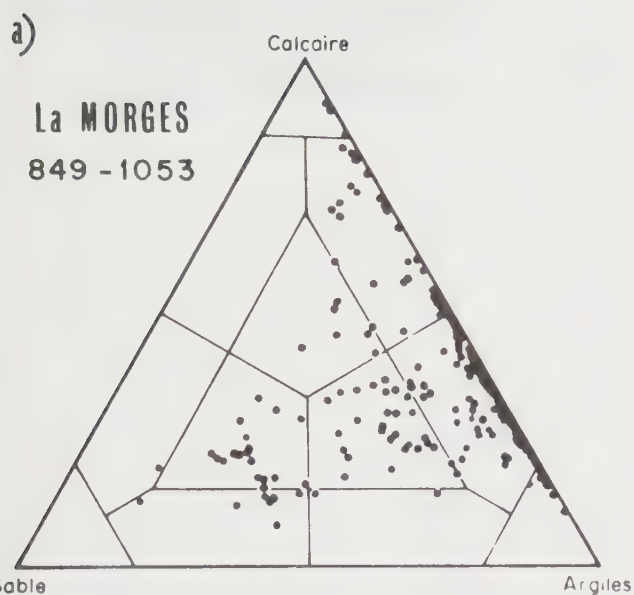


Figure 6

VARIATIONS DE LA REPARTITION
DES FREQUENCES DES LITHOFACIES
EN FONCTION DE LA
POSITION GEOGRAPHIQUE

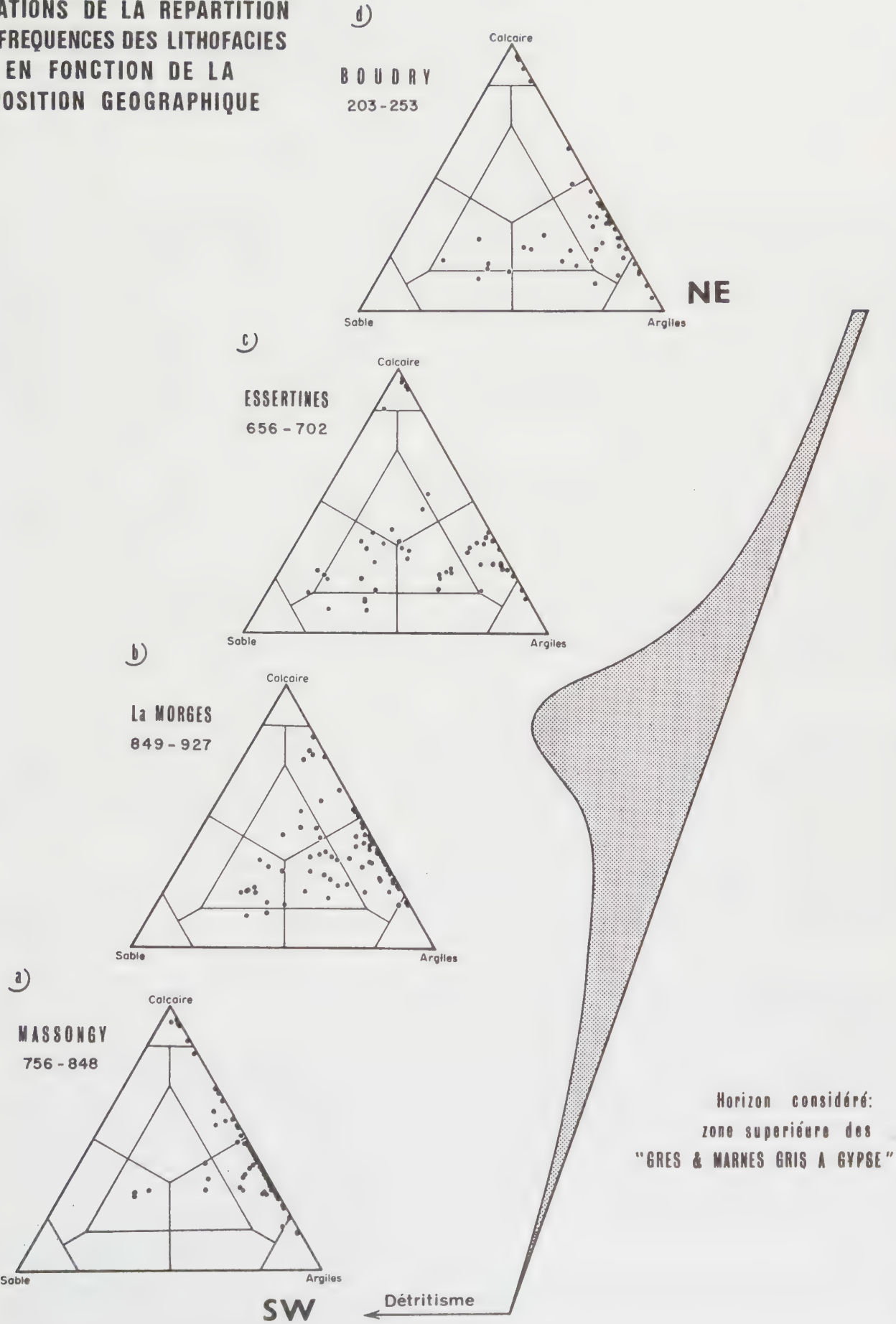


Figure 7

Pour chaque échantillon, les pourcentages de Sable, Argile et Calcaire sont portés dans le diagramme triangulaire où ils définissent un point. Ce point permet de déterminer le type lithologique de l'échantillon (figure 3b), donc le type lithologique de chaque banc. La figure 4 permet alors de fixer le symbole à utiliser dans l'élaboration de la colonne "lithologie" de la coupe stratigraphique. Pour cette dernière, l'ensemble des points figurant dans le diagramme triangulaire nous donne la répartition des fréquences des différents lithofaciès.

La figure 6 présente six exemples pris dans le Stampien. On y voit très nettement trois groupes distincts s'individualiser. Ces groupes correspondent aux trois "formations" principales reconnues dans la Molasse stampienne de notre région. Ce sont, de haut en bas, les suivantes :

"Grès et marnes gris à gypse" (a et b)

"Calcaires d'eau douce et dolomie" (c et d)

"Marnes bariolées" (e et f)

Dans l'ensemble, les résultats obtenus avec d'autres coupes confirment cette répartition des fréquences des lithofaciès en fonction de la position stratigraphique. On note cependant, avec les coupes situées en dehors de l'axe principal d'apports détritiques, certaines différences significatives. La figure 7 donne, par exemple, les diagrammes obtenus dans 4 coupes alignées suivant un axe SW - NE, séparées les unes des autres par 27 kilomètres et prises au sommet de la série des *"Grès et marnes gris à gypse"*. Au premier coup d'oeil, on remarque deux faits saillants : d'abord que les diagrammes b et c sont ceux qui présentent les plus fortes fréquences de sédiments détritiques, ensuite que l'on peut grouper les diagrammes a et b d'une part et c et d d'autre part. Il semble, en effet, que a et b ont une très forte concentration de sédiments du lithofaciès 8 (marne argileuse) groupés sur le bord du diagramme, tandis que c et d ont en commun un étalement des lithofaciès vers le pôle des Sables ainsi qu'une descente générale vers la base du triangle.

On peut expliquer la première constatation, à savoir l'abondance des sédiments détritiques en b et c de la façon suivante : la coupe d'Essertines (c) est la plus voisine de l'axe des apports détritiques pendant la période considérée, axe qui doit passer entre Morges (b) et Essertines, mais plus près de cette dernière localité. De chaque côté de cet axe, en s'éloignant vers le NE ou vers le SW, les bancs détritiques perdent de leur importance. Massongy, très à l'écart des apports détritiques grossiers, est dans une zone de sédimentation calme où, seuls, des sédiments marno-calcaires se déposent. Le mécanisme de cette précipitation calcaire peut avoir deux origines principales entre lesquelles il nous est, pour l'instant, impossible de choisir. Soit les eaux propres permettent la prolifération d'organismes végétaux précipitant le calcaire de façon directe (Algues pluricellulaires) ou indirecte par action photosynthétique (Diatomées), soit des changements de facteurs physico-chimiques du milieu, occasionnent une précipitation directe du calcaire.

Le deuxième fait mentionné, à savoir les affinités Massongy - La Morges d'une part et Essertines - Boudry d'autre part, est uniquement dû à une illusion optique car, si au lieu des fréquences brutes, on calcule les pourcentages des fréquences, on s'aperçoit qu'en fait La Morges et Boudry sont plus voisins du point des lithofaciès marneux que ne le sont Massongy et La Morges. Ceci confirme leurs positions relativement symétriques de part et d'autre de l'axe des apports détritiques.

Si nous revenons maintenant aux diagrammes f, d et a de la figure 6, nous aurons les divers types de sédimentation dans une région donnée (Morges) au cours du Stampien. Les affleurements étant épars, mes observations sont entrecoupées de nombreuses lacunes, ce qui confère à mes conclusions un caractère hypothétique. Il ne m'est ainsi possible que de déduire les grandes lignes de la sédimentation.

La base de la série des *"Marnes bariolées"* n'est pas visible dans la Morges, seule la partie supérieure affleure, de façon assez sporadique du reste. La série des *"Calcaires et de la dolomie"*, ainsi que celle des *"Grès et marnes gris à gypse"* sont, elles, bien mieux exposées.

Les *"Marnes bariolées"* (f) représentent le début de la sédimentation molassique active après la longue période d'émersion et de karstification s'étant étendue pendant au moins tout l'Eocène. La sédimentation, de type détritique dominant, apparaît relativement tranquille. En effet, les arrivées fortement ou grossièrement détritiques sont peu fréquentes. Lorsqu'elles existent, elles sont souvent groupées et ont donné lieu à des séries de bancs superposés.

Avec la série des *"Calcaires et de la dolomie"* (d), on assiste à un ralentissement de la sédimentation, qui devient très tranquille et dominée par le dépôt des sédiments carbonatés.

La série des *"Grès et marnes gris à gypse"* (a), traduit une sédimentation plus active que les deux périodes précédentes mais avec des épisodes de relative tranquillité autorisant le dépôt de sédiments fortement carbonatés.

En conclusion, la méthode de calcul des pourcentages des principaux constituants et la représentation graphique des résultats dans le diagramme triangulaire offre plusieurs avantages :

1) Elle présente des résultats reproductibles et permet d'avoir des dénominations précises des différents lithofaciès, ce qui autorise les comparaisons entre plusieurs coupes.

2) A l'aide des lithofaciès ainsi déterminés, il est possible d'étudier leur succession et tenter d'y découvrir des séquences, peut-être même des cycles de sédimentation.

3) L'examen de la répartition des fréquences par lithofaciès dans une coupe permet, en l'absence de fossiles et pour autant que la coupe soit continue et présente des lithofaciès variés, de se faire une idée sur sa position stratigraphique approximative.

4) Enfin, en un point donné, l'évolution des répartitions des fréquences au cours du temps traduit l'évolution des conditions de sédimentation dans la région considérée.

4.5 Couleurs

Facteur important dans la description macroscopique des sédiments, la couleur est bien trop souvent déterminée d'une façon très subjective. Ceci résulte en partie des conditions d'observation (luminosité, degré d'hydratation de la roche, etc.) et en partie à des conditions humaines. Pour éviter de tels inconvénients, il est préférable de comparer la couleur de la roche avec les couleurs d'une carte-témoin. La Rock-Color Chart, éditée par la Geological Society of America en est un exemple assez complet. Cependant, dans mon cas, pour simplifier, j'ai pris, après avoir fait des observations à travers toute la série molassique, un certain nombre de couleurs-types qui paraissaient les plus fréquentes. J'ai ainsi gardé neuf couleurs de base et me suis constitué une carte-témoin pour comparaison sur le terrain. La liste et la numérotation de ces neuf couleurs est indiquée ci-après. J'ai aussi fait figurer, en regard de ma terminologie, la numérotation et la nomenclature des couleurs équivalentes de la Rock-Color Chart.

Le principe de notation des couleurs que j'ai adopté est le suivant :

- Les couleurs franches, correspondant aux couleurs-types, sont notées par le chiffre correspondant à la couleur.
- Une couleur intermédiaire entre deux teintes de la carte est indiqué par les deux chiffres de base séparés par une oblique, la teinte dominante écrite en premier. Par exemple, la couleur ocre-gris sera notée 4/8, tandis que le gris-ocre donnera 8/4.
- Lorsque la roche présente des bariolures ou des taches, on note les diverses teintes en les séparant par le signe + et l'on souligne la couleur dominante s'il y a lieu. Une marne gris-vert clair avec taches ocres et lie-de-vin s'écrira : 2 + 4 + 6.

Couleurs utilisées ici

No	N O M
1	Gris-vert foncé
2	Gris-vert clair
3	Crème
4	Ocre
5	Terre de Sienne
6	Lie-de-vin
7	Brun rosé
8	Gris
9	Noir

Correspondances avec la Rock-Color Chart

No	N O M
5 G 5/2	Grayish green
5 G 6/1	Greenish gray
10 YR 8/4	Very pale yellowish orange
10 YR 6/6	Dark yellowish orange
10 YR 5/4	Moderate yellowish brown
5 R 4/4	Moderate red
5 YR 5/2	Pale brown
5 Y 4/1	Olive gray
N 1	Black

4.6 Minéraux lourds

Depuis quelques années, il est devenu de bon ton, dans tout travail de pétrographie sédimentaire, de réserver un chapitre à l'étude des minéraux lourds. Pour ma part, si j'ai aussi entrepris quelques recherches de minéraux lourds, ce n'était que pour vérifier les conclusions de mes prédécesseurs. En effet, si du point de vue stratigraphique les séries molassiques n'ont fait l'objet que de rares travaux, il n'en est pas de même du point de vue pétrographique. En ce qui concerne les minéraux lourds du Stampien de notre périmètre d'investigations, les seuls travaux existants sont ceux de VERNET (1958 et 1964) et de WAGNER (1970).

A l'origine, VERNET (1956, p. 229) n'était guère partisan de ce genre d'étude. En effet, si cet auteur réserve dans sa "Géologie des environs de Morges" un paragraphe aux minéraux lourds, ce n'est peut-être que pour céder à cette nouvelle mode car lui-même n'est guère enthousiaste. Il écrit à ce sujet : "Nous aurions pu essayer d'utiliser la méthode des minéraux lourds pour résoudre les problèmes d'origine et de stratigraphie tant des formations quaternaires que tertiaires. Mais la longueur des préparations et des manipulations, le peu de résultats

obtenus jusqu'à présent par cette méthode nous l'a faite écarter." Deux ans plus tard cet auteur a un brusque revirement d'opinion qui le pousse à écrire coup sur coup deux travaux axés sur les minéraux lourds de la Molasse (VERNET, 1958). Ces premières études seront bientôt suivies d'autres, dont quatre en 1964. Parmi ces dernières, deux concernent plus particulièrement le Stampien de l'extrémité occidentale du Plateau suisse. WAGNER (1970) tente, lui, sur la base des minéraux lourds, d'établir des corrélations entre le bassin lémanique et celui de Frangy-Bellegarde.

Une analyse de toutes ces études montre que, si les minéraux lourds peuvent être utilisés avec profit dans la recherche des différentes provinces ou unités tectoniques étant à l'origine des apports détritiques, ils ne sont cependant pas susceptibles de fournir des indications stratigraphiques précises. Tout au plus peut-on mentionner certaines tendances générales. Ainsi, dans notre région, la hornblende bleue (glaucophane) est cantonnée dans les "*Marnes bariolées s.l.*" et peut monter jusque dans les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" tandis que les parties moyenne et supérieure des "*Grès et marnes gris à gypse*" sont caractérisées par la forte augmentation de l'épidote. Dans le bassin de Frangy-Bellegarde, par contre, les fréquences de l'épidote ne montrent aucune évolution nette et la hornblende bleue monte très haut dans les "*Grès et marnes gris à gypse*".

WAGNER (1970) a également démontré que la granulométrie des sédiments avait une incidence certaine sur les résultats. Personnellement, les essais que j'ai effectués m'ont montré que la méthode d'échantillonnage était aussi un facteur important influençant fortement les résultats. Ainsi, des échantillons prélevés à la base, au milieu et au sommet d'un même banc peuvent présenter, pour un minéral donné, des fréquences fort variables.

En conclusion, si les minéraux lourds peuvent être utilisés pour essayer de débrouiller l'origine des apports détritiques, ils ne sont cependant pas susceptibles de servir pour établir une stratigraphie précise. Ils peuvent cependant montrer des tendances dans l'évolution des fréquences, tendances qu'il est généralement possible de suivre sur des distances horizontales importantes. Les résultats globaux obtenus en Suisse occidentale ayant déjà fait l'objet de plusieurs publications auxquelles on pourra se référer, je n'ai pas jugé nécessaire de réitérer ce genre d'étude.

5. METHODES D'INVESTIGATION PALEONTOLOGIQUE

5.1 Introduction

Contrairement à ce que l'on croit et qui a été publié jusqu'ici, les fossiles sont relativement fréquents dans les sédiments stampiens. Leur prétendue absence provient de la relative rareté des macrofossiles. Ces derniers sont du reste peu importants pour la stratigraphie puisqu'il s'agit généralement de mollusques terrestres ou fluvio-lacustres. Sans négliger les macrofossiles qui donnent souvent de bonnes indications paléoécologiques, mes études ont principalement porté sur la recherche de microfossiles. Sous ce terme sont compris tous les restes organiques nécessitant des processus de désagrégation des sédiments et l'emploi d'un certain grossissement pour leur détermination. A l'intérieur de ce groupe très vaste, je fais cependant deux classes distinctes. La première classe comporte tous les microfossiles invertébrés ou végétaux, la seconde est restreinte aux micromammifères. Si les mammifères sont considérés ici comme des microfossiles, c'est qu'il s'agit presque exclusivement de petits rongeurs et que seules leurs dents sont utilisables pour les déterminations spécifiques.

J'ai procédé à plus de 1000 lavages, dont près de 100 destinés à la recherche de mammifères. On constatera que ce travail n'a pas été vain puisqu'il a permis la récolte de nombreuses espèces peu ou pas signalées dans notre région.

Ces études paléontologiques avaient plusieurs buts :

1. Il s'agissait tout d'abord d'établir l'inventaire des microfossiles le plus complet possible.
2. Il importait ensuite de trouver un ou plusieurs groupes utilisables pour la stratigraphie. En effet, la subdivision de séries non marines, où les influences lacustres et saumâtres prennent tour à tour le pas, pose des problèmes que nous évoquerons dans le paragraphe suivant.
3. Enfin, l'ensemble des microfossiles s'est avéré d'une grande importance dans l'analyse des conditions sédimentologiques et paléoécologiques.

5.2 Problèmes posés par la subdivision des séries continentales

Si la subdivision bio-stratigraphique des séries marines ne pose pas de problèmes majeurs, il n'en est pas de même en ce qui concerne les séries montrant des variations des conditions du

milieu de sédimentation. La figure 8 donne un exemple schématique pouvant s'appliquer à la série des "Grès et marnes gris à gypse". Afin de simplifier, nous supposons la sédimentation comme ininterrompue et nous n'envisagerons que deux milieux de sédimentation seulement, l'un lacustre et l'autre saumâtre. Au cours du temps, les influences saumâtres se font de plus en plus sentir dans le milieu lacustre, c'est à dire que la limite des deux milieux se déplace de la gauche vers la droite.

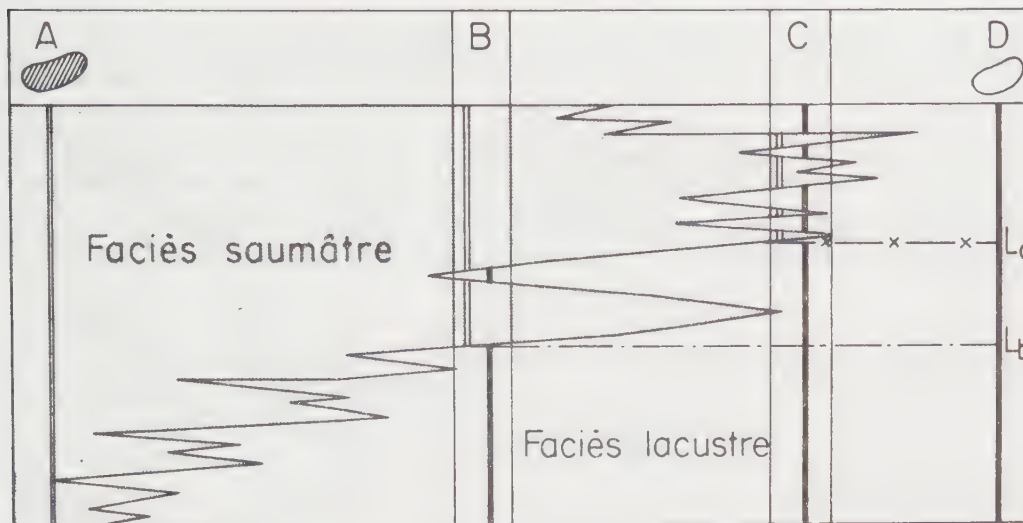


Figure 8 : Relations entre milieu de sédimentation et limites stratigraphiques.

Considérons maintenant quatre coupes complètes de cette série prises en divers endroits et imaginons que nous tentions d'établir des corrélations entre les coupes ainsi qu'une subdivision de ces dernières basées sur les ostracodes.

En A, le milieu ayant été uniquement saumâtre, on ne rencontre qu'une espèce d'ostracode saumâtre.

En D, au contraire, le milieu étant resté lacustre, la seule espèce d'ostracode rencontrée est lacustre.

Dans ces deux cas, si l'on ne possède qu'une espèce chaque fois, il est impossible d'une part d'établir des corrélations entre les deux groupes et d'autre part de subdiviser la série.

Examinons maintenant les deux coupes intermédiaires, comme le ferait un observateur ne connaissant pas le contexte géologique.

En B, la base de la série ne montre qu'une espèce d'ostracode lacustre. C'est celle que nous avons rencontrée en D. Du point de vue paléontologique, l'observateur va placer une limite L_b au moment de l'apparition de l'espèce d'ostracode saumâtre.

En C, la base et la partie moyenne de la série contiennent la même espèce d'ostracode lacustre déjà rencontrée, si bien qu'au moment de l'apparition de l'espèce saumâtre, l'observateur est tenté de placer une limite L_c qu'il croit synchrone de L_b . Cette limite n'est nullement stratigraphique puisqu'elle se déplace dans le temps de A vers D et qu'elle ne correspond qu'à un changement des conditions écologiques.

Lors de l'établissement d'une bio-stratigraphie applicable entre B et C, il ne faudra tenir compte que des faunes lacustres pouvant réapparaître entre les épisodes saumâtres.

Une autre façon de procéder dans l'élaboration d'une bio-stratigraphie lorsque les conditions du milieu de sédimentation sont changeantes, c'est d'utiliser des organismes indépendants du milieu de sédimentation. Parmi ces organismes, les plus importants sont les spores et pollens et les mammifères. Ces deux groupes peuvent en effet avoir une dispersion importante puisqu'ils se déplacent hors du milieu de sédimentation. Les spores et pollens sont transportés par les vents, les mammifères se déplacent d'une manière autonome. Les spores et pollens peuvent avoir une extension horizontale considérable mais leur fossilisation est souvent problématique dans les séries fluvio-terrestres car ils sont très rapidement oxydés et détruits. Les mammifères ont une dispersion moins importante puisque leurs déplacements sont conditionnés par la répartition des terres émergées. Cependant leurs espèces évoluent très rapidement, ce qui confère à ce groupe une grande importance stratigraphique.

Nous allons maintenant passer en revue les principaux groupes de fossiles rencontrés et donner leurs avantages respectifs dans l'étude paléoécologique et biostratigraphique des séries molassiques.

5.3 Principaux groupes de fossiles des séries molassiques

5.3.1 Macrofossiles

Comme nous l'avons déjà vu, les macrofossiles sont relativement rares, ce qui a valu à la Molasse sa réputation de terrain stérile. En dehors de très rares découvertes d'os ou de dents de gros vertébrés, les seuls macrofossiles sont des mollusques continentaux, presque exclusivement des gastéropodes, et des restes végétaux.

Si les mollusques continentaux ne permettent guère l'établissement d'une stratigraphie fine, ils sont cependant fort utiles lors de la reconstitution des conditions écologiques.

En dehors des fragments de bois flotté et des accumulations de débris végétaux herbacés, les restes de plantes bien conservés sont très rares dans notre périmètre d'investigation.

5.3.2 Microfossiles

Ce groupe comprend des fossiles d'origines très diverses, allant des unicellulaires aux vertébrés ou appartenant au règne végétal.

Les végétaux sont représentés par des graines de plantes aquatiques diverses, des oogones de charophytes, des fragments d'algues.

Les graines ont été trouvées dans une seule région et en trop petit nombre pour pouvoir être utilisées en stratigraphie.

Les charophytes, par contre, ont une extension géographique et stratigraphique étendue, ce qui a permis d'en tirer parti, non seulement pour la paléoécologie, mais aussi pour la stratigraphie.

Les autres algues n'ont été rencontrées qu'en lames minces et souvent à l'état si fragmentaire qu'il n'a pas été possible de les déterminer spécifiquement.

Le règne animal quant à lui a fourni : des foraminifères, des ostracodes et des restes de poissons (dents pharyngiennes et otolithes).

Les espèces de foraminifères sont très peu nombreuses et leur présence est limitée à quelques niveaux. Leur importance est avant tout écologique.

Les ostracodes, bien que fréquents, ne permettent pas d'établir des subdivisions stratigraphiques. Ils sont par contre d'une très grande utilité pour la paléoécologie car ils sont très sensibles aux variations de salinité. Il a été ainsi possible de mettre en évidence des alternances eau douce - eau saumâtre se répétant parfois sur moins de 2 mètres.

Les dents pharyngiennes et les otolithes n'étant que des parties du squelette des poissons, leur nomenclature s'est heurtée à des difficultés du même ordre que celles rencontrées en palynologie. En effet, il est rare de trouver des squelettes entiers où les dents pharyngiennes ainsi que les osselets de l'oreille interne (otolithes) puissent être étudiés. Au début, les noms de genres et d'espèces ont donc été donnés d'une manière arbitraire, indépendante de la classification zoologique. Actuellement la nomenclature utilisée pour ces fragments osseux indépendants tend à employer des noms les replaçant dans leurs familles supposées. Dans notre cas, les fossiles rencontrés sont encore trop mal connus pour qu'il soit toujours possible de les déterminer spécifiquement. Leur seul intérêt est d'ordre écologique.

5.3.3 Micromammifères

Ce groupe présente trois avantages principaux lors des études biostratigraphiques des séries continentales.

Tout d'abord, son taux évolutif élevé permet une subdivision fine des séries.

Deuxièmement, l'indépendance des mammifères par rapport au milieu de sédimentation permet de les rencontrer d'une façon plus uniforme au sein de sédiments d'origines diverses.

Enfin, bien qu'ayant affaire à des organismes d'une taille généralement importante, il suffit cependant souvent d'une seule et minuscule dent pour pouvoir effectuer une détermination spécifique.

Toute médaille ayant son revers, il me faut mentionner un désavantage notable : la quantité de sédiments à traiter. En effet, s'il suffit ordinairement de 200 à 500 g de matériel dans le cas de recherche micropaléontologique conventionnelle, 20 à 50 kg ou plus sont nécessaires lorsque l'on recherche des vertébrés.

COMPOSANTS PALEONTOLOGIQUES

	Mammifères ou vertébrés indéterminés
	Dents pharyngiennes de poissons
	Otolithes
	Gastéropodes
	Lamellibranches
	Ostracodes
	Foraminifères
	Charophytes
	Débris végétaux
	Feuilles

COMPOSANTS PETROGRAPHIQUES

Les lignes verticales sont disposées tous les 10%.

	Fraction gréseuse
	Fraction argileuse
	Fraction calcaire
	Gypse massif ou en rosettes
	Gypse fibreux

SYMBOLIS SEDIMENTOLOGIQUES

	Niveau palustre
	Passage graduel
	Passage très graduel
	Ripple-marks
	Slumping

Figure 9 : Symboles paléontologiques, pétrographiques et sédimentologiques

Dans cette étude, l'accent a été mis sur la recherche des mammifères, ce qui a permis d'établir une échelle stratigraphique plus complète et de préciser la position de plusieurs coupes.

5.3.4 Pollens et spores

Il existe, en dehors de l'étude des mammifères, une autre manière d'envisager la biostratigraphie des séries continentales. Il s'agit de la palynologie. Cependant, lorsque les conditions de sédimentation n'autorisent pas un enfouissement rapide des spores et pollens, ceux-ci risquent d'être oxydés et détruits.

En ce qui concerne les sédiments étudiés ici, MM. GORIN et JAN DU CHENE ont procédé à de nombreux essais de recherche palynologique sur les niveaux semblant les plus favorables. Seuls quatre échantillons des "*Grès et marnes gris à gypse*" affleurant dans la Morges ont livré quelques formes, souvent très abîmées. Tous les autres échantillons se sont montrés stériles, ce qui semble confirmer les observations de certains de mes prédécesseurs qui ont constaté la pauvreté des séries molassiques stampiennes par rapport aux séries du Flysch.

Toutefois, des études systématiques seront entreprises ultérieurement afin de tenter de découvrir certains horizons plus favorables. Ceci permettrait de mieux connaître la flore continentale de nos contrées au cours du Stampien.

Les symboles paléontologiques utilisés dans l'élaboration des coupes graphiques sont donnés sur la figure 9.

5.4 Préparations paléontologiques

Ayant eu, au début de mes recherches, quelques problèmes avec les méthodes d'extraction et ayant constaté que la littérature à ce sujet est parfois contradictoire, je donne ici un résumé des méthodes utilisées. J'y adjoins un bref commentaire concernant les limites d'utilisation de chaque méthode.

Toutes les méthodes données ci-dessous requièrent une fragmentation préalable de la roche. La taille des fragments dépend de celle des organismes cherchés. S'il s'agit de microfossiles d'invertébrés, le diamètre moyen des morceaux peut être légèrement inférieur à 1 cm. Dans le cas de dents de mammifères, dont la concentration au sein de la roche est très faible, la fragmentation mécanique ne devra pas être trop poussée afin de ne pas risquer de briser des fossiles déjà peu nombreux. La taille des morceaux ne devrait pas être inférieure à 2 cm.

5.4.1 Roches argileuses et marneuses

5.4.1.1 Méthode à la gazoline extra-légère ou aérogazoline.

L'échantillon fragmenté est mis à sécher à l'étuve d'une manière très complète, à une température n'excédant pas 95°C. Au-dessus de 100°C, en effet, la fraction argileuse commencerait à cuire et l'échantillon serait perdu, toute désagrégation ultérieure devenant dès lors impossible. On sort ensuite l'échantillon que l'on place sous hotte où on le laisse refroidir avant de le recouvrir de gazoline. On le laisse ainsi 30 minutes environ, en l'agitant de temps en temps. Passé ce délai, on décante et l'on récupère la gazoline par filtration, puis on verse aussitôt de l'eau bouillante sur l'échantillon. On agite avec une baguette de verre et, si la réaction est peu violente ou de courte durée, on ajoute 15 à 50 cm³ d'eau oxygénée à 130 volumes et, éventuellement, un supplément d'eau bouillante.

On laisse ensuite reposer l'échantillon 6 à 8 heures avant de le laver sur tamis sous eau courante tombant en pluie. On évitera les jets d'eau violents qui risquent de casser les fossiles délicats tels que les valves d'ostracodes.

Certaines roches demandent plusieurs traitements à la gazoline avant d'obtenir un résidu fin suffisamment important. En général, la méthode à la gazoline a donné des résultats d'autant plus satisfaisants que les sédiments sont plus argileux. Cette méthode a, d'autre part, le grand avantage de ne pas soumettre l'échantillon à des contraintes physiques trop grandes (ébullition, cristallisation etc.) ce qui permet de préserver les fossiles délicats.

Contrairement à ce que préconisent certains auteurs, l'emploi de la gazoline doit être préféré à celui du pétrole pour la désagrégation des roches argileuses, les résultats obtenus étant nettement supérieurs et compensant largement le désavantage du prix plus élevé de la gazoline.

5.4.1.2 Méthode au carbonate de sodium (Soude)

Si le résidu obtenu avec l'opération précédente se laisse difficilement laver et reste argileux, on le récupère dans un gros b cher, on lui ajoute environ deux fois son volume d'eau additionnée d'une cuillérée à soupe de soude et on le fait cuire doucement 20 à 30 minutes. On le relave ensuite sur tamis, puis on le récupère pour le faire sécher à l'étuve.

5.4.1.3 Méthode par congélation

Certaines roches litées ou schisteuses très indurées ou à pourcentage d'argile faible, comme certains calcaires peu argileux, peuvent se montrer très réfractaires aux méthodes de lavage décrites ci-dessus. Dans ce cas, on tentera une désagrégation par congélations et réchauffements successifs. Il s'agit d'une variante de la méthode, un peu sophistiquée, consistant à plonger l'échantillon alternativement dans de l'azote liquide (-196°C) et dans de l'eau. Dans notre cas, la congélation se fait dans un congélateur ou dans le casier à congeler d'une armoire frigorifique ordinaire. L'échantillon, fractionné comme pour un traitement à la gazoline, est placé dans une coupelle en porcelaine assez évasée. On l'imbibe d'eau, éventuellement additionnée d'un mouillant, puis on le fait alternativement geler et dégeler. Lorsqu'on juge que la fraction fine est assez importante, on traite l'échantillon à la soude avant de le laver sur tamis.

Cette méthode ne requiert pas une surveillance astreignante mais elle est assez lente et ne peut s'appliquer à la recherche de fossiles fragiles. Elle présente cependant le grand avantage de permettre la désagrégation de roches assez dures dans lesquelles seules des observations en lames minces sont ordinairement possibles. Pour cette raison je l'ai utilisée pour la recherche des charophytes et des foraminifères.

5.4.1.4 Attaque à l'acide acétique

Dans le cas des roches à forte teneur en calcaire (Marno-calcaire, calcaire gréseux, etc), on pourra procéder à une attaque à l'acide acétique si l'on recherche des restes de vertébrés ou des organismes à paroi non calcaire ou, éventuellement, des organismes à paroi calcaire épaisse. Dans ce dernier cas, on utilisera de l'acide acétique pur et l'on surveillera attentivement l'attaque pour que les fossiles ne risquent pas d'avoir leur surface trop corrodée.

J'ai principalement appliqué cette méthode à la recherche des dents de vertébrés contenues dans les calcaires lacustres. Bien que très lente, cette méthode est la seule pouvant être appliquée en pareil cas. Elle présente l'avantage de ne pas exiger de surveillance continue.

5.4.2 Roches gréseuses

5.4.2.1 Méthode à l'a rogazoline

Cette méthode n'est utilisable que si le ciment contient une proportion importante d'argile. On peut tenter d'employer cette méthode d'abord, et si les résultats s'avèrent mauvais, on passe à la méthode suivante.

5.4.2.2 Méthode à l'hyposulfite de sodium

On place l'échantillon fragmenté dans un récipient en verre ou en porcelaine à bords élevés. On prendra garde à ne jamais utiliser de récipients en aluminium car ils seraient fortement corrodés et très rapidement percés. On recouvre l'échantillon avec une solution d'hyposulfite de sodium à 10% et on laisse reposer 30 à 40 minutes. On ajoute ensuite 1/5 du volume total (Echantillon + solution d'hyposulfite) d'eau oxygénée à 130 volumes. La réaction est fortement exothermique et produit un dégagement de H_2S et de SO_2 . Pour ces raisons, il est indispensable de travailler sous hotte ou, éventuellement, en plein air.

On laisse la réaction se poursuivre au moins 6 heures avant de laver sur tamis.

5.4.3 Techniques spéciales

5.4.3.1 Ultra-sons

Certains résidus de lavage, bien que traités à la soude, présentent encore des fossiles très sales. Il est souvent possible de les nettoyer en les passant aux ultra-sons pendant quelques secondes à quelques minutes pour les spécimens très sales. Ce procédé n'est pas applicable pour nettoyer l'intérieur des valves d'Ostracodes et les Charophytes ornementées.

5.4.3.2 Concentration des restes de vertébrés par attaque à l'acide acétique après lavage

Lors de la recherche de restes de vertébrés, on procédera tout d'abord au traitement de désagrégation correspondant au type de roche concernée. Ensuite, après avoir séché le résidu et prélevé, si nécessaire, les microfossiles sur une partie de ce dernier, on procédera à une attaque à l'acide acétique. On verse l'acide cristallisable de manière à bien imbiber tout le résidu, puis on ajoute doucement de l'eau, jusqu'à obtention d'une réaction suffisante. On laisse en contact un ou deux jours avant de laver abondamment à l'eau courante pour éliminer toute trace d'acide.

Cette méthode, qui permet la concentration des restes de vertébrés, offre plusieurs avantages :

1. Elle est nettement plus rapide qu'une attaque à l'acide acétique effectuée sur la roche brute.
2. Par la destruction de tous les restes de coquilles et fragments calcaires, elle permet d'abréger singulièrement le fastidieux travail de tri.
3. Enfin, elle peut s'appliquer à toutes les sortes de roches des séries molassiques susceptibles d'être préalablement désagrégées.

6. STRATIGRAPHIE

6.1 Introduction

Aussi paradoxal que cela puisse paraître, les séries molassiques d'allure si monotone vont donner lieu, lors de l'élaboration des échelles stratigraphiques par les différents auteurs, à de multiples dénominations. On se sera peut-être déjà un peu rendu compte de cet état de choses en parcourant le chapitre consacré à l'historique des recherches. Cette multiplicité des termes est aisément explicable et résulte de deux causes principales étroitement liées.

La première cause est la relative pauvreté en fossiles, ce qui n'a pas permis d'établir de subdivisions biostratigraphiques. Pour contourner la difficulté, les différents auteurs se sont alors efforcés de n'établir qu'une lithostratigraphie.

Mais, et c'est là la deuxième cause de la multiplicité des dénominations, la monotonie des sédiments et la persistance des faciès ne sont qu'apparentes. En effet, les séries sont au contraire si variées que, dans des coupes séparées par quelques dizaines de mètres, les corrélations de couche à couche sont généralement impossibles. Ceci est dû au type très particulier de la sédimentation. Il suffit d'imaginer un delta actuel pour saisir la diversité des environnements réunis quelquefois sur de très petites surfaces : terrestre, fluviatile, lacustre, saumâtre et même marin. Le seul caractère commun à la majorité de ces sédiments est leur origine détritique, ce qui leur confère cette monotonie d'ensemble. La grande variabilité des conditions de sédimentation, coexistant quelquefois sur des aires restreintes, conduit, latéralement, à des changements de faciès rapides. De ces variations latérales importantes a résulté la diversité des dénominations basées uniquement sur des critères lithologiques. Ces lithostratigraphies n'ont ainsi qu'une valeur très locale et je me rallie bien volontiers à l'opinion de BERSIER (1945, p. 455) qui doute de la valeur stratigraphique d'un niveau défini seulement par ses caractères lithologiques. Notons cependant à ce sujet que plus un lithofaciès est grossièrement détritique, moins son extension horizontale est importante. Ainsi, les dépôts gréseux sont très fortement lenticulaires tandis que les bancs calcaires sont beaucoup plus étendus. C'est pour cette raison que dans la nomenclature stratigraphique utilisée, je préfère conserver uniquement trois formations majeures et omettre les termes désignant des niveaux gréseux importants. Cependant, pour faciliter la description des "*Marnes bariolées s.l.*", série épaisse et qui n'affleure que très sporadiquement, j'ai subdivisé l'étude en plusieurs chapitres. Les titres de ces chapitres sont extraits des colonnes stratigraphiques locales données sur le tableau 1. Ce tableau présente les principales dénominations utilisées par les différents auteurs ainsi que les intervalles dans lesquels j'ai levé des coupes ou pris des échantillons de comparaison.

Au cours des chapitres qui suivent, nous allons parcourir ensemble les diverses unités du Stampien, en les considérant du point de vue stratigraphique, pétrographique, sédimentologique et, si possible, écologique.

L'échelle stratigraphique utilisée dans ce travail étant principalement basée sur les mammifères on trouvera ci-après, sur le tableau 2, les zones mammalogiques de l'Oligocène, ainsi que les rangs caractéristiques pour chacune d'elles. Méthodologiquement, la stratigraphie basée sur les mammifères diffère notablement de la biostratigraphie conventionnelle. En effet, les faunes étudiées pour l'établissement de cette échelle ont été récoltées dans des gisements ponctuels et non le long de coupes continues. Il est d'autre part indispensable que les séries contenant les gisements de mammifères soient continues et interstratifiées de niveaux marins bien datés, ce qui permet de caler l'échelle mammalogique sur les étages marins.

RENEVIER & SCHARDT (1900)	CUSTER (1928)	CUSTER & AUBERT (1935)	JORDI (1951)	BERSTER (1952)	VERNET (1956)	RIGASSI (1957)	AUBERT (1963)	KISSLING (1974)
Cossonay-Yverdon	Cossonay-Yverdon	Sud du Mormont	Sud-Ouest d'Yverdon	Jorat	Nord-Ouest de Morges	Bassin genevois	Région d'Orbe	
Molasse grise	Grès grossier Marnes bariolées Grès verdâtres		Marnes bariolées supérieures Grès de Cuarny		Grès de Clarumont	Grès d'Aclens		
Molasse d'eau douce inférieure avec bancs calcaires	Grès et marnes à gypse	Grès gris verdâtre avec peu de marnes Marnes bariolées	Marnes à gypse supérieures Couches de Tillerée Marnes à gypse inférieures	Grès gris Grès feldspathiques et micacés à ciment argilo-calcaire et Marnes colorées ou bigarrées	Marnes gypsifères supérieures Marnes gypsifères inférieures	Marnes grises à gypse	Grès et marnes gris à gypse	
	Calcaire d'eau douce	Calcaires d'eau douce	Calcaires d'eau douce et dolomie	Calcaire d'eau douce de Sous-Vélaz	Calcaires lacustres		Calcaire d'eau douce et dolomies	Calcaires d'eau douce et dolomie
Molasse rouge	Marnes à gypse et grès Grès gris-vert	Marnes bariolées Grès gris-vert à mica et glauconie Gompholite calcaire Marnes bariolées Quelques bancs de grès	Marnes bariolées inférieures Grès de Suscévaz Marnes bariolées à bancs de grès glauconieux et gompholites	Marnes et grès Grès de Goumoens (Grès entrecroisé à gompholite) Marnes rouges Calcaire à glauconie Grès de Loveresse (Grès à glauconie et gompholite) Marnes rouges	Molasse rouge ou Marnes lie-de-vin	Marnes prédominantes Grès à galets mous fréquents Molasse	Grès de Mathod Grès de Suscévaz Gompholite	Marnes bariolées
	Marnes à gypse et Gompholite					Calcaires d'eau douce et brèches de Grilly	Calcaire lacustre d'Orbe	Calcaires d'eau douce inférieurs

TABLEAU 1

Ces conditions idéales sont cependant rarement toutes réalisées si bien que l'échelle stratigraphique basée sur les mammifères subit de fréquentes révisions. Le terme de zone employé en paléomammologie n'a cependant pas la même signification que celle admise par les biostratigraphes travaillant en milieu marin. En effet, devant la fréquence très basse des gisements, l'échelle mammologique est basée sur un certain nombre de gisements types caractérisés par le stade évolutif des rongeurs qu'ils contiennent. On utilise de préférence des rongeurs à d'autres mammifères à cause de leur taux évolutif élevé, qui permet une subdivision stratigraphique plus fine. Les découvertes ultérieures de gisements contenant des rongeurs à des stades évolutifs intermédiaires à ceux des gisements types ont permis d'affiner la stratigraphie en créant des sous-zones.

Ages géologiques	Zones de Charophytes	Zone de Mammifères	Sous-zones	Rongeurs guides
MIOCENE	PAULHIAC	PAULHIAC		Cricetodon (Eucricetodon) collatum B
OLIGOCENE SUPERIEUR		CODERET	Küttigen	Cricetodon (Eucricetodon) collatum A Archaeomys laurillardi B
			Rickenbach	Archaeomys laurillardi A
		COURNON	Aarwangen	Blainvillimys geminatus C
			Boningen	Blainvillimys geminatus B
OLIGOCENE MOYEN	SAINT-VINCENT DE BARBEYRARGUES	ANTOINGT	Oensingen	Blainvillimys geminatus A
	FONTAINEBLEAU	LA SAUVETAT	Mümliswyl	Blainvillimys blainvillei
OLIGOCENE INFERIEUR		BEMBRIDGE	RONZON	
	MONTMARTRE			Isoptychus aquatilis
EOCENE SUPERIEUR		EUZET		Isoptychus auberyi
				Isoptychus euzetensis

TABLEAU 2

Il ne me semble pas inutile non plus de rappeler ici que les subdivisions du Stampien, telles qu'elles avaient été définies par RICHARD (1946) sont en cours de révision grâce aux récentes et nombreuses découvertes de gisements de rongeurs. L'ancienne subdivision était :

STAMPIEN TERMINAL qui devrait correspondre à la zone de CODERET
STAMPIEN SUPERIEUR qui devrait correspondre à la zone de COURNON
STAMPIEN MOYEN qui devrait correspondre à la zone d'ANTOINGT
STAMPIEN INFERIEUR qui devrait correspondre à la zone de LA SAUVETAT.

Pour THALER (1966, p. 199), si l'équivalence Stampien terminal = zone de Coderet semble acceptable, les trois autres sont encore douteuses. Cet auteur écrit en effet : "mais si l'on peut sans doute considérer comme synonyme la dernière de ces zones, celle de Coderet, et le "Stampien terminal" de RICHARD (1946) on ne peut pas, par contre, mettre automatiquement en parallèle les zones de La Sauvetat, Antoingt et Cournon avec le "Stampien inférieur, moyen et supérieur" de cet auteur. Tout d'abord; le "Stampien inférieur", caractérisé par l'association d'*Aceratherium magnum* avec *Enteledon* (*E. magnum* ou *E. deguilhelmi* suivant les gisements), ne me paraît pas distinct du "Sannoisien supérieur" caractérisé par l'abondance d'*E. magnum* et l'apparition d'*A. filholi*." Aussi, si l'on tient absolument à conserver le terme de Sannoisien comme représentant un étage, le terme de Stampien inférieur devient caduc et c'est le Stampien moyen qui devient le Stampien inférieur. Une autre acception consiste, en outre, à considérer le Sannoisien comme représentant uniquement un faciès du Stampien. On pourrait ainsi à loisir multiplier les exemples de divergence d'opinion entre stratigraphes et paléomammologistes, mais là n'est pas le but de ce travail. Enfin, et pour compliquer les choses, l'usage ne suit bien souvent pas les conventions. On remarque par exemple que le terme Stampien terminal n'apparaît presque jamais dans la littérature.

Pour simplifier l'exposé et sans vouloir entrer dans des considérations stratigraphico-philosophiques, j'ai groupé arbitrairement, sous le terme de Stampien supérieur, les zones de Cournon et de Coderet. Les équivalences utilisées ici sont donc les suivantes :

STAMPIEN SUPERIEUR	{ zone de CODERET
	{ zone de COURNON
STAMPIEN MOYEN	= zone d'ANTOINGT
STAMPIEN INFERIEUR	= zone de LA SAUVETAT

Dans la mesure du possible, j'essaierai d'éviter l'emploi du terme Stampien pour n'utiliser que les zones mammologiques. En ce qui concerne ces dernières, on notera que dans le tableau ci-dessous, THALER (1965 et 1966) place le gisement de Paulhiac, considéré comme aquitanien, dans le Miocène. Cet étage, qui serait oligocène par ses caractères continentaux et, semble-t-il, plutôt miocène par ses caractères marins, a toujours suscité des querelles entre paléomammologistes et stratigraphes. L'attitude de L. THALER dénote l'honnêteté intellectuelle de ce chercheur qui, en 1962, rappelait la stérilité de telles discussions en disant : "aucun des gisements attribués à l'"Aquitaniens" n'est en relation claire avec une série marine."

Sur l'esquisse géologique, j'ai groupé les affleurements attribués à l'Aquitaniens et les affleurements miocènes (fig. 2).

6.2 Calcaires d'eau douce inférieurs

6.2.1 Généralités

La base des "*Marnes bariolées s.l.*" n'affleure que très sporadiquement, aussi le contact avec le soubassement mésozoïque (généralement crétacé) est-il le plus souvent masqué. En général, cette unité de la Molasse, constituée de marnes et de grès, repose soit directement, soit par l'intermédiaire du Sidérolithique, sur le substratum mésozoïque.

Cependant, en quelques points, on observe à la base des "*Marnes bariolées s.l.*", quelquefois au contact avec le substratum, une série de calcaires d'eau douce avec niveaux bréchiques et intercalations marneuses.

La première mention, sur le Plateau suisse, d'un niveau calcaire à faciès conglomératique que l'on peut rapporter à notre série a été faite par JACCARD (1869, p.53) qui écrit : "A Pompaples, une couche très rapprochée de l'Urgonien se compose d'une espèce de gompholite ou conglomérat de nodules calcaires à couches concentriques, cimentés par une pâte également calcaire." J'ai retrouvé, le long de la route Pompaples - Arnex (coordonnées : 528.640/169.300), les bancs de calcaire "conglomératiques" décrits par JACCARD. On ne peut malheureusement pas voir le contact entre la base de la série molassique et l'Urgonien. Cependant, il semble qu'au-dessus de ce dernier viennent environ un mètre de marnes argileuses rouges provenant, au moins en partie, du remaniement du Sidérolithique, puis trois bancs de calcaire d'une puissance totale de 50 centimètres environ. C'est dans le banc supérieur presque exclusivement que s'observent les "*nodules calcaires à couches concentriques*". Je n'ai pas trouvé, contrairement à ce qu'on peut voir à Grilly, ni des galets de Crétacé, ni des cailloux noirs d'origine molassique.

Toujours dans la région de Pompaples, SCHARDT (1879, p. 515) découvre, en plus de la "*gompholite*", au-dessus d'une couche de marne argileuse : "une série de bancs d'un calcaire gris ou rose; à l'intérieur de ce calcaire on remarque des cailloux roulés empâtés dans la masse". Dans la même note, cet auteur signale la présence, sur les deux flancs de la colline d'Orbe, d'un calcaire lacustre à "*Chara*". Dans sa "Notice géologique sur la Molasse rouge" (1880), il en donne une description détaillée ainsi qu'une liste des fossiles découverts. Selon SCHARDT, les gastéropodes sont indéterminables spécifiquement, seules les Charophytes sont un peu mieux conservées, ce qui autoriserait, entre autres, la détermination de "*Chara helicteres*" Brongniart. Cependant, "*Tectochara helicteres*" (BRONGNIART) est une espèce exclusivement paléocène mais, sous ce nom ont été décrites de nombreuses formes n'ayant rien à voir avec cette espèce, ce qui semble être le cas ici. SCHARDT compare ce niveau avec celui décrit par A. JACCARD (1869) près du lac Ter, dans la vallée de Joux. Dans cette dernière région, les calcaires contenaient des gastéropodes dont "*Limnea longiscata*" Brongniart.

Récemment, D. AUBERT (1963), en simplifiant à tort, écrit, dans sa notice explicative de la feuille Orbe : "Calcaire lacustre à *Limnea longiscata*, signalé par SCHARDT sur les deux flancs de la colline d'Orbe." Alors que ce dernier auteur ne se prononçait pas sur le nom d'espèces des limnées rencontrées dans la région d'Orbe à cause de leur mauvais état de conservation.

Dans la région d'Orbe, des calcaires stériles pouvant être considérés comme équivalents à ceux décrits par SCHARDT, affleurent entre ORNY et BAVOIS (Communication orale de D. RIGASSI). Cependant, leur position stratigraphique est loin d'être claire.

Ensuite, pour retrouver des niveaux de calcaires d'eau douce identiques, il faut aller beaucoup plus au SW, dans la région de Divonne. Ils affleurent à Grilly, où RIGASSI (1957) les signale dans son étude sur le Tertiaire de la région genevoise. En 1964, à la faveur de travaux de fondations à l'Ouest de Grilly, ces calcaires sont mis à jour, ce qui permet à MICHEL d'en faire une étude détaillée. MOREL (1945) avait déjà signalé l'existence de calcaires lacustres dans cette région. Il mentionne que les bancs décrits dans le village d'Arbère viennent au-dessus d'une série de marnes argileuses grises, rouges, violacées, formant la base de la "*Molasse rouge*"; il ne donne cependant pas l'épaisseur de cette série de marnes argileuses.

D'autres affleurements de ces calcaires ne nous sont pas connus. Cependant, on a retrouvé, vers la base des sondages de Challex et de Peissy, des bancs calcaires pouvant s'apparenter à ceux d'Arbère. Ces sondages n'ayant pas été forés assez profondément pour atteindre le soubassement mésozoïque, il est impossible de connaître l'extension géographique des calcaires de Grilly dans le bassin genevois. Nul doute qu'elle soit assez limitée et ne représente qu'un faciès très particulier. Il est cependant intéressant de noter que, vers la base de cette série presque exclusivement détritique des "*Marnes bariolées s.l.*", s'intercalent des calcaires d'eau douce. Ceux-ci ne sont pas obligatoirement limités à l'extrême base de la série et peuvent être parfois assez abondants. C'est par exemple le cas dans le sondage de Peissy qui, comme je viens de le dire, n'a pas atteint le soubassement crétacé mais présente, à la base, au-dessus de quelques mètres de marnes et de grès, une série à très nombreux bancs calcaires. Les carottes de ce sondage étant conservées au Muséum d'Histoire Naturelle de Genève, il m'a été possible de les échantillonner grâce à l'obligeance de Monsieur E. LANTERNO, conservateur principal du Département de Géologie.

6.2.2 Lithologie et pétrographie

Jusqu'à présent, seuls les "*Calcaires d'eau douce inférieurs*" affleurant à Grilly ont été l'objet d'une description détaillée par MICHEL (1965). En reprenant ici certains points de son étude et en y adjoignant les observations faites à Pomaples et sur quelques-uns des bancs calcaires rencontrés vers la base du sondage de Peissy, nous pourrions compléter nos connaissances sur ces niveaux.

On peut d'emblée faire deux groupes qui se distinguent aussi bien par l'apparence que par la genèse. Le premier groupe comprend des calcaires que rien ne permet de différencier de ceux de la série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*". C'est pourquoi je ne fais que les mentionner ici, réservant leur étude pour le chapitre consacré à cette dernière série.

Le second groupe de calcaires, celui que nous allons étudier ici, se rencontre fréquemment à l'extrême base des "*Calcaires d'eau douce inférieurs*" et d'une façon beaucoup plus dispersée ensuite. Ces calcaires sont caractérisés par l'origine génétique de leurs constituants. Dans tous les cas on y distingue des galets contenus dans une matrice.

Cette matrice, de couleur claire, est de nature relativement constante. Il s'agit d'une pâte micritique, faiblement argileuse et à grains de quartz. Dans certains cas, lorsque les galets sont abondants, la matrice est fortement argileuse et de teinte verdâtre. Les grains de quartz, toujours fréquents à la base de la série, plus ou moins abondants ensuite, sont rarement anguleux, le plus souvent émoussés, éventuellement arrondis. Leur surface est parfois corrodée. Leur taille est comprise entre moins de 0,01 mm et plus de 1 mm.

Les galets sont de trois types principaux :

Le premier type est représenté par des galets de Crétacé inférieur. Assez fréquents à la base, ils deviennent beaucoup plus rares, voire exceptionnels, dans le reste de la série. Leur présence suggère l'existence, à cette époque à l'emplacement du futur Jura, de reliefs assez érodés par places pour exposer le Crétacé inférieur. Comme certains de ces galets peuvent se rencontrer à une distance notable du pied du Jura, on peut supposer que le relief de ce dernier était suffisamment marqué pour posséder un réseau hydrographique à régime parfois torrentiel.

Le second type renferme des galets constitués d'un calcaire micritique très voisin de celui composant la matrice mais plus argileux et souvent beaucoup plus gréseux. Ces galets sont presque toujours arrondis, de forme quelquefois un peu allongée. Ils représentent le remaniement de niveaux intra-molassiques déposés antérieurement et déjà suffisamment consolidés pour supporter un certain transport sans subir de déformation et s'user d'une façon régulière.

Dans le troisième type, le plus complexe, les galets sont aussi constitués de fragments de calcaires pénécontemporains résédimentés. Cependant, leur composition semble plus carbonatée et leur structure micritique est plus compacte que celle de la matrice. Très souvent ces galets sont entourés, plus ou moins complètement, d'une auréole de calcaire concrétionné. Certains galets sont formés d'un fragment de calcaire contenant lui-même d'autres galets plus petits du même type ou du type précédent. Enfin, certains galets sont constitués uniquement d'un fragment de calcaire concrétionné.

Notons, pour terminer, que la couleur des galets varie du brun-beige au noir et tranche donc fortement avec la couleur beige clair à blanc sale de la matrice. La taille des fragments est comprise entre 2 mm et 3 cm environ.

Le deuxième type de galets nous laisse supposer que la diagenèse devait être très précoce et rapide puisque des fragments de sédiments fraîchement déposés étaient suffisamment consolidés pour être fragmentés et roulés sans être déformés. La coloration noire de certains galets ne peut être expliquée par des variations de la composition minéralogique, puisque cette dernière diffère très peu de celle de la matrice. Certains auteurs (FREYET, 1965, pp. 310-312; HÄFELI, 1966, p.637) optent pour une teneur plus ou moins forte en matière organique. Pour HÄFELI, la quantité de matière carbonneuse nécessaire à un changement de coloration est minime : "Die dunkelgraue bis schwarze Farbe der Cailloux noirs muss daher in erster Linie von sehr fein verteilter kohligter Substanz herrühren. Für eine Schwarzfärbung der Kalke genügt 100 ppm submikroskopisch feiner Kohlenstoff". On peut aussi supposer que, par places, la diagenèse précoce s'est opérée dans des conditions réductrices. Ce phénomène devait être, dans notre cas, très localisé dans l'espace et dans le temps puisqu'on ne rencontre des galets noirs que dans les calcaires de Grilly alors que les galets encroûtés, par exemple, montent beaucoup plus haut dans la série des "*Calcaires d'eau douce inférieurs*" et qu'il s'en retrouve même dans certains bancs des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" de la région de Boudry. La composition très voisine entre les galets noirs et la matrice avait déjà été notée par CAYEUX (1935, p. 312); avant lui, JOUKOWSKY et FAVRE (1913, pp. 318-319) avaient fait des observations analogues dans certains niveaux du Purbeckien du Salève. Pour ces derniers auteurs, l'autochtonie des éléments ne fait aucun doute.

La présence de fragments de calcaire concrétionné et, surtout, le concrétionnement de certains galets conduisant à la formation de gros "pisolithes" pose le problème de leur genèse et de leur origine. Des observations détaillées (FREYET et PLAZIAT, 1965) sur des sédiments du Crétacé supérieur et de l'Eocène du Languedoc ont permis de démontrer que les encroûtements des galets seraient dus, en majeure partie, à l'action d'algues filamenteuses *Rivulariaceae*, *Cyanophyta* vivant dans des eaux agitées. Malheureusement, il ne m'a pas été possible de retrouver les structures typiquement algaires si clairement visibles sur certains des échantillons figurés par les auteurs pré-cités. Cependant l'activité, au moins partielle, des algues est indispensable dans l'élaboration de ces "pisolithes" dont plusieurs présentent des lentilles argileuses interstratifiées dans les couches calcaires. C'est la présence d'un feutrage algaire qui a permis, d'une part de retenir du matériel détritique et, d'autre part, par activité photosynthétique, de précipiter le calcaire.

Les calcaires concrétionnés, dont on ne retrouve que des fragments, résultent, d'après DURAND (1963) de la précipitation du calcaire par activité biochimique. Une eau saturée en bicarbonate de calcium, s'écoulant sur des pentes faibles à très faibles favorisant son étalement et la déperdition de gaz carbonique, laisse précipiter le calcaire. Le processus peut être fortement accéléré lorsque le gaz carbonique est soutiré par une grande activité photosynthétique. Ces faits sont tout à fait compatibles avec les conditions de sédimentation ayant prévalu pendant cette période de transition entre le régime karstique éocène et la sédimentation molassique active. Sous un climat chaud on avait, lors de périodes relativement humides, formation de croûtes calcaires qui, pendant des périodes moins favorables, pouvaient se craqueler et être emportées dans les zones toujours immergées où se déposait le calcaire ayant donné la matrice.

6.2.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Les fossiles de la série des "*Calcaires d'eau douce inférieurs*" sont très peu nombreux. Dans la partie basale, affleurant à Grilly, je n'ai personnellement trouvé aucun macrofossile. En lame mince, par contre, en dehors des foraminifères et des fragments d'algues et d'échinodermes remaniés du Crétacé, j'ai noté la présence de plusieurs variétés d'algues dont des charophytes et des restes pouvant s'apparenter à "*Microcodium sp.*".

Au sommet de la coupe qu'il a levée, MICHEL (1963, p. 707) note : "La présence d'une "*Plebecula ramondi*" (Brgt) au sommet de ce banc (8) précise l'âge chattien des calcaires de Grilly". Indépendamment du fait que le terme "Chattien" ne devrait pas être utilisé pour des séries continentales, la répartition stratigraphique des "*Helix*" du groupe *ramondi* s'étend du Stampien inférieur à l'Aquitaniens inférieur, du niveau d'Antoingt à celui de Paulhiac dans l'échelle utilisée en paléomammologie. La présence d'un seul individu "*Helix ramondi*", plus précisément "*Wenzia ramondi*" (BRONGNIART) est un argument bien tenu pour placer cette série dans le Stampien moyen.

JAYET (1964, p. 7) attribue à l'Eocène les calcaires de Grilly, en s'appuyant uniquement sur le fait qu'il "semble qu'en un point il soit recouvert par des argiles sidérolithiques". Or ces argiles rouges peuvent être soit du Sidérolithique remanié, soit des argiles de la série des "*Marnes bariolées s.l.*", soit des "*Terres rouges*" holocènes et ne constituent pas un argument probant permettant une attribution stratigraphique.

La partie supérieure de la série m'a livré, dans le sondage de Peissy, quelques charophytes et des restes de rongeurs assez peu nombreux et mal conservés. Il a cependant été possible à

Madame M. HUGUENEY de Lyon de déterminer les espèces suivantes :

Eomys sp.

Pseudocricetodon sp. . Des dents de ces tailles sont connues dans l'Oligocène moyen et supérieur et ne fournissent donc aucune indication précise. Le même niveau a en outre livré une dent de :

Blainvillimys sp. . Elle est de plus grande taille que celle d' *Archaeomys laurillardi* GERVAIS de Coderet. Elle montre un développement moins important du cément et un lobe antérieur plus primitif. En conclusion, cette D₄ de Thérídomorphe semble indiquer un niveau nettement plus ancien que Coderet : sommet de l'Oligocène moyen ou base de l'Oligocène supérieur. Ceci confirme les hypothèses de RIGASSI (1957) qui considérait les calcaires de Grilly comme un équivalent des calcaires de Wynau et d'Oensingén. Sous ces derniers a été trouvée, à Balm près de Günsberg, une faune relativement riche à *Blainvillimys gregarius* SCHLOSSER, qui fait considérer ce gisement comme l'équivalent suisse du gisement de La Sauvetat.

Les charophytes des calcaires de Grilly n'ont pu être examinées qu'en lames minces, aussi sont-elles spécifiquement indéterminables. Les niveaux de marnes du sondage de Peissy, par contre, ont livré des exemplaires dégagés que Madame M. FEIST, CASTEL, du Laboratoire de Paléobotanique de l'Université de Montpellier a eu l'obligeance de déterminer. Ce sont :

Tectochara meriani (HEER)

Sphaerochara sp.

Rhabdochara major GRAMBAST ET PAUL

T. meriani n'a, pour notre étude, aucune valeur stratigraphique puisque son extension va de l'Oligocène à l'actuel. *R. major*, par contre, indique le Stampien inférieur à moyen ou, si l'on préfère employer les zones de charophytes (M. CASTEL, 1968), les zones de Fontainebleau et de Saint-Vincent de Barbeyrargues. Ces deux zones couvrent, dans l'échelle stratigraphique basée sur les mammifères, les zones de Ronzon à Antoingt.

A part les rivulariacées et les charophytes, d'autres genres d'algues ont été signalés. Ainsi MICHEL (1965, p. 706) note la présence d'organismes pouvant probablement se rapporter au genre *Microcodium*. Mes observations m'ont également permis de retrouver quelques fragments de ces algues. Cependant, après plusieurs comparaisons, leur appartenance au genre *Microcodium* me semble très problématique.

En conclusion, les indications fournies par les quelques rares fragments de rongeurs ainsi que par les charophytes découverts dans le sondage de Peissy sont concordantes et permettent de placer les "*Calcaires d'eau douce inférieurs*" dans la partie inférieure de la zone d'Antoingt.

6.2.4 Ecologie et sédimentologie

Il est très difficile de se faire une idée d'ensemble des conditions de sédimentation des "*Calcaires d'eau douce inférieurs*", puisque les observations que l'on peut faire sont toutes limitées à la zone bordant le versant S du Jura. Cette dernière devait d'autre part jouir de conditions très particulières car, si elle était très éloignée des apports détritiques alpins, elle recueillait en revanche les détritiques de l'érosion du Jura.

Les quelques observations que l'on peut faire tendent à démontrer que la sédimentation devait être lacustre et se faire en eau peu profonde mais, parfois, relativement agitée. Le régime des tributaires jurassiens était torrentiel, ce qui explique la présence de galets jurassiens quelquefois assez loin dans le bassin et les érosions des calcaires fraîchement sédimentés. Le climat était assez chaud et il semble que des périodes humides devaient alterner avec des périodes plus sèches.

En dehors de la présence de *Wenzia ramondi* et celle de quelques petits rongeurs, nous ne possédons guère d'indications sur la faune continentale et aucune sur la flore. Bien que sans pouvoir les déterminer spécifiquement, puisque toutes les observations se font en lames minces, nous sommes un peu mieux renseignés sur les faunes et flores lacustres. On y distingue des limnées, des planorbes, des ostracodes et quelques fragments d'os de poissons. La flore comporte plusieurs variétés d'algues.

6.3 "Marnes bariolées s.l."

6.3.1 Introduction

Pour la série des "*Marnes bariolées s.l.*", NECKER (1841) avait introduit le nom de "*Molasse rouge*". Ce terme, dont l'ambiguïté avait déjà été signalée par SCHARDT (1880, p.611),

a cependant été repris par certains auteurs. Pour ma part, il doit être abandonné, aussi l'ai-je remplacé par celui de *"Marnes bariolées"* déjà employé par plusieurs de mes prédécesseurs.

Cette série est très variée du point de vue sédimentologique. Un examen rapide du tableau 1, p. permet déjà de s'en rendre compte par l'abondance des termes utilisés dans les stratigraphies locales.

L'épaisseur des *"Marnes bariolées s.l."* est très difficile à déterminer avec précision car le contact avec le soubassement crétacé est rarement visible. Cette épaisseur est d'autre part des plus variable mais, d'une manière générale, augmente du NW vers le SE. Ainsi, à Boudry, l'épaisseur de la série est d'environ 20 m, dans la région de Valeyres-sous-Rances et d'Orbe elle atteint 200 m, entre Essertines et Echallens elle est comprise entre 300 et 350 mètres. Dans la région de Morges et à Douvaine enfin, l'épaisseur des *"Marnes bariolées s.l."* doit atteindre 800 à 900 m.

Ces valeurs ne donnent qu'une tendance générale. En certains endroits, en effet, comme au voisinage du Mormont, la sédimentation s'est effectuée sur des compartiments entre failles et les épaisseurs sont extrêmement variables.

Les bancs marneux sont très fréquents et prédominent parfois sur de grandes épaisseurs. Par places, la sédimentation marneuse relativement tranquille est interrompue par des arrivées détritiques souvent groupées. Celles-ci ont donné naissance à des bancs de grès plus ou moins grossiers, quelquefois accompagnés de conglomérats connus sous le nom de "gompholites". Les bancs calcaires sont exceptionnels, sauf vers le haut de la série où ils annoncent déjà le changement des conditions de sédimentation qui prévaudront dans les *"Calcaires d'eau douce et dolomie"*. Le caractère avant tout marneux de la plupart des sédiments fait que les affleurements sont très rares et que, bien souvent, seuls les niveaux détritiques sont visibles. Les observations que j'ai pu faire sont, par conséquent, très incomplètes et devront sûrement être sérieusement revues au fur et à mesure des découvertes. Je déplore ici que bien des travaux de génie civil soient faits sans que des échantillons puissent être récoltés, non à cause d'une quelconque mauvaise volonté des entreprises, mais par le manque de coordination entre l'industrie et les organismes de recherche académique. Il est regrettable, par exemple, que les sondages les plus intéressants faits sur le futur tracé des autoroutes ne soient pas conservés. En effet, une fois que le géologue responsable a fait son relevé, les caisses sont laissées sur le terrain où elles pourrissent et finissent par être renversées et leur contenu dispersé.

Nous allons subdiviser l'étude des *"Marnes bariolées s.l."* en plusieurs chapitres dont les titres sont extraits des colonnes stratigraphiques locales données sur le tableau 1. Ce sont, de bas en haut :

6.3.2	<i>"Marnes rouges"</i>	(A. BERSIER, 1952)	} Marnes bariolées à bancs de grès glauconieux et gompholites (H.A. JORDI, 1951)
6.3.3	<i>"Grès de Loveresse"</i>	(A. BERSIER, 1952)	
6.3.4	<i>"Calcaire à glauconie"</i>	(A. BERSIER, 1952)	
6.3.5	<i>"Marnes rouges"</i>	(A. BERSIER, 1952)	
6.3.6	<i>"Grès de Goumoëns"</i>	(A. BERSIER, 1952)	= Grès de Suscévaz (H.A. JORDI, 1951)
6.3.7	<i>"Marnes bariolées inférieures"</i>	(H.A. JORDI, 1951)	
6.3.8	<i>"Grès de Mathod"</i>	(H.A. JORDI, 1951)	

6.3.2 et 6.3.5 *"Marnes rouges"*

6.3.2.1 Généralités

Dans ce chapitre, par commodité, mais aussi par manque de données suffisantes sur une série monotone, je traiterai ensemble les séries marneuses antérieures aux *"Grès de Goumoëns"* et dans lesquelles sont intercalés les *"Grès de Loveresse"* et les *"Calcaires à glauconie"*.

J'ai déjà signalé le fait que la dominance marneuse de ces séries ne leur permet pas d'affleurer d'une façon assez continue pour donner de belles coupes. Seuls certains niveaux détritiques plus compétents sortent parfois en relief dans une topographie molle où, bien souvent, les flancs des vallées ne représentent que des masses écroulées. Les *"Grès de Loveresse"* sont un de ces épisodes gréseux, relativement important, venant interrompre cette sédimentation à dominance marneuse. A part quelques petites falaises le long de certains cours d'eau, les seuls bons affleurements sont représentés par des excavations artificielles. La plus importante d'entre elles est la carrière située au Sud de la station d'Eclépens (coordonnées 532300/166650, fig. 10) et qui sert à alimenter en matériel marneux la cimenterie exploitant les calcaires urgoniens du Mormont. Les coupes levées dans cette carrière sont données sur les planches 1 et 2. Il est à

PLAN DE SITUATION

Coupe : Eclépens

Planche n°: 1 et 2

"Formation": *Marnes rouges (Marnes bariolées s.l.)*

N° Echantillons : 256 - 306

Feuille n° 1222 - COSSONAY de la Carte nationale de la Suisse au 1:25000

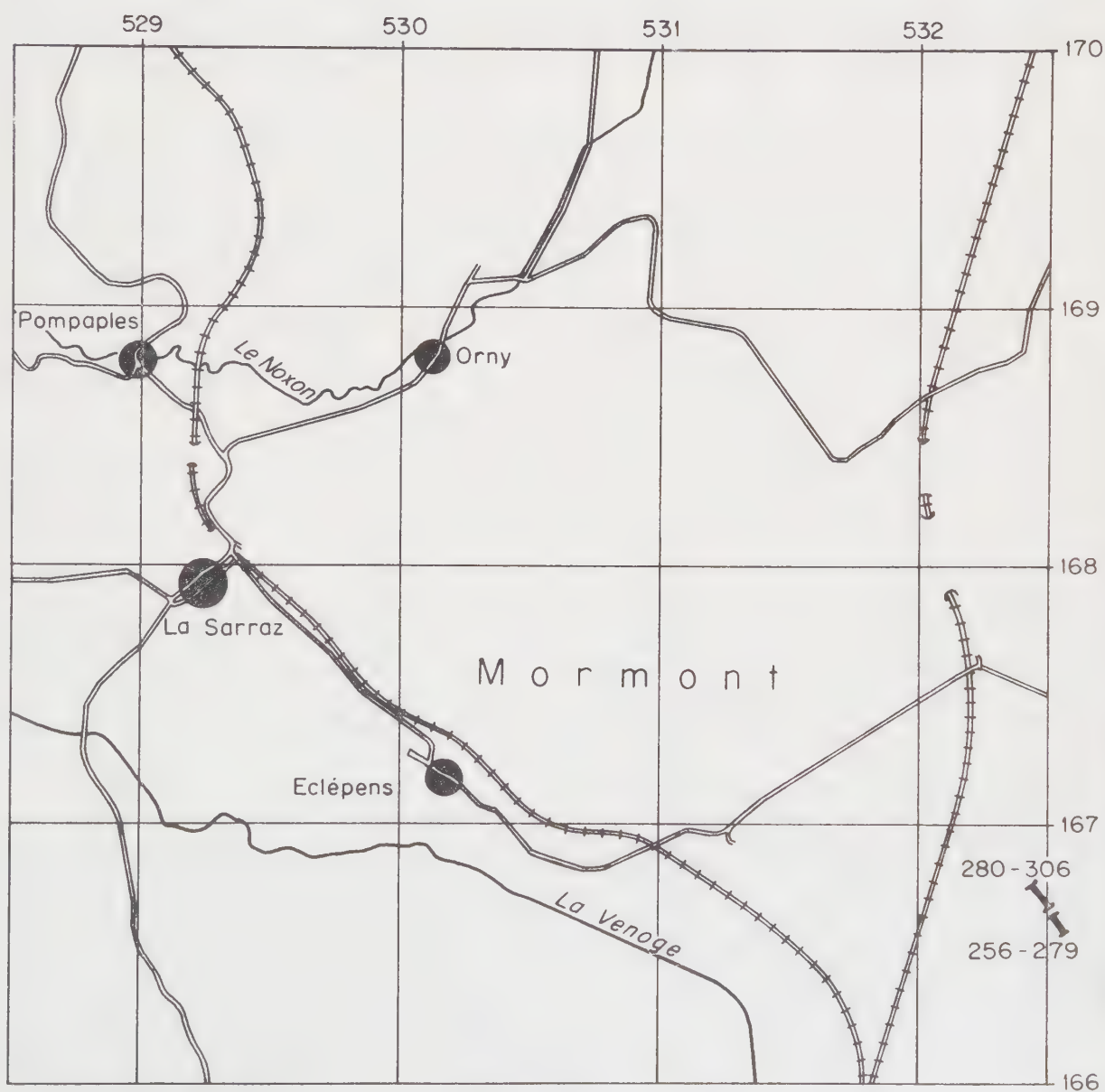


Figure 10

noter que la lacune entre le sommet de la planche 1 et la base de la planche 2 est inférieure à 5 mètres. D'autres échantillons ont été récoltés dans une tranchée sous le lieu-dit "Poyat", 500 m au NNE de Goumoëns-le-Jux. Enfin, quelques échantillons dispersés ont été prélevés dans certains sondages de reconnaissance pour l'autoroute dans la région au S de Bavois.

6.3.2.2 Lithologie et pétrographie

La série étant principalement marneuse, les seules observations microscopiques en vue d'une étude pétrographique ont été effectuées sur les bancs gréseux. Je n'ai pas voulu, dans ce travail assez général, entreprendre l'étude de la fraction argileuse. En effet, les travaux antérieurs, principalement celui de Vernet. (1958), ont montré que la pétrographie de cette fraction granulométrique était des plus monotones tout au long de la série molassique. Les variations sont même si peu caractéristiques que les subdivisions obtenues ainsi sont bien moins fines que celles que l'on obtient par une simple étude lithostratigraphique.

Bien que les observations soient très fragmentaires, il semble qu'à travers toute la série, l'importance du détritisme augmente de bas en haut. Ainsi, au N de Goumoëns-le-Jux où, dans le lit du Talent, le substratum mésozoïque apparaît en boutonnière sous la série molassique, la base de cette dernière est constituée de marnes souvent assez argileuses dans lesquelles s'intercalent des bancs de grès, peu nombreux, relativement minces et généralement plaquetés. Plus haut dans la série, dans la coupe de la carrière au Sud de la station d'Eclépens (Planches 1 et 2), bien que les sédiments marneux soient prédominants, les bancs gréseux sont beaucoup plus fréquents et souvent épais et massifs. Quelquefois, les bancs gréseux ravinent les marnes sous-jacentes et ont une allure nette de remplissage de chenal.

LITHOFACIES	2	3	4	5	6	7	8
FREQUENCES EN %	5,5	4	9,5	2	9,5	15,5	54
EPAISSEURS CUMULEES, EN %	8	9	11	0,5	12,5	12	47
				72%			

TABLEAU 3

On se reportera à la figure 6 e, en ce qui concerne la répartition des lithofaciès dans le diagramme triangulaire et à la planche 30 pour l'histogramme des épaisseurs des bancs.

Le tableau 3 donne les répartitions des fréquences et des épaisseurs cumulées des différentes lithologies. On remarque que, du point de vue des épaisseurs, près des trois quarts de la coupe sont constitués de sédiments argilo-marneux peu détritiques. Plus bas dans la série, cette proportion est plus forte encore et, dans certaines zones, voisine ou supérieure à 90%.

Du point de vue pétrographique de la fraction détritique des grès, on est frappé par l'abondance des feldspaths, généralement plus nombreux que les grains de quartz, et les fréquences élevées des grains de serpentinites qui peuvent, quelquefois, représenter plus de 20% des minéraux détritiques. Dans la partie basale de la série, les fragments de diabases sont communs tandis qu'ils sont beaucoup plus rares, voire absents, dans le reste de la série. Les minéraux phylliteux sont : la biotite, dont bien des grains sont en voie de chloritisation, des micas du groupe de la muscovite (j'écrirai désormais simplement muscovite) et des chlorites. Les paillettes de muscovite sont souvent concentrées à la surface des plaquettes de grès, quelquefois de marnes. Une grande partie des chlorites provient de l'altération de la biotite et, dans une certaine mesure, de la serpentine. La glauconie ne représente généralement que de très faibles pourcentages. Elle a cependant souvent été mentionnées mais, comme nous le verrons au chapitre suivant, c'est parce qu'elle a été, la plupart du temps, confondue avec la chlorite.

La couleur des sédiments des "Marnes rouges" est très variable. On peut cependant dire que la base de la série montre très nettement la prédominance des teintes rouges lie-de-vin. Ceci provient probablement en grande partie du remaniement du Sidérolithique. En montant dans la série, d'autres teintes apparaissent et le rouge devient nettement subordonné. Ainsi, dans la coupe d'Eclépens, les bancs de teinte lie-de-vin ne représentent environ que le 20% des fréquences observées.

Comme bien des auteurs dont SCHARDT (1880, p. 611) l'ont dit, le terme de "*Molasse rouge*" est mal choisi car, premièrement, ce ne sont jamais les bancs de grès, ou molasse du parler populaire, qui sont rouges, mais, au contraire, les niveaux marneux et, deuxièmement, les niveaux vraiment rouges ne représentent souvent qu'un faible pourcentage des fréquences des couleurs (voir planche 31). L'impression de la dominance des teintes rouges provient du fait que ce sont les niveaux marneux et argileux qui sont rouges et que, par érosion et délavage, ils coulent sur les autres termes de la série en les recouvrant ainsi d'une pellicule rougeâtre. Le terme de "*Marnes rouges*" employé par certains est correct mais ne peut pas s'appliquer à toute la série des "*Marnes bariolées s.l.*".

6.3.2.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Dans toute la partie inférieure de la série molassique, les fossiles sont très rares et, bien souvent, tellement abîmés qu'ils n'autorisent que rarement des déterminations spécifiques.

Cependant, juste sous les "*Grès de Loveresse*", des échantillons prélevés en sondage m'ont livré quelques restes de mammifères associés à des charophytes. Les mammifères recensés sont les suivants :

Insectivora indet.

Rodentia indet.

Cricetidae spp. indet

Issiodoromys minor (SCHLOSSER)

Pseudotheridomys pusillus FAHLBUSCH

C'est probablement aussi à cette zone que l'on doit rattacher, dans la région genevoise, le gisement découvert par P. REVILLOD, Ad. JAYET et J. HÜRZELER le long de la Versoix, environ 500 mètres en amont de la Vicille Bâtie et qui a livré :

Carnivore indet.

Archaeomys sp.

Issiodoromys minor (SCHLOSSER)

Issiodoromys minor est une forme assez localisée, limitée au sommet de la zone de La Sauvetat et à la zone d'Antoingt. Elle peut monter jusqu'à la base de la zone de Cournon. Le *Pseudotheridomys pusillus* paraît assez évolué et, s'il était seul présent, on aurait pu attribuer ce niveau au sommet de Cournon ou à la base de Coderet. Cependant, nous ne possédons qu'une seule dent et les Eomyidés montrent, à l'intérieur d'un gisement, une très forte variabilité. Il n'est pas rare de trouver, à côté de dents de formes très primitives, des formes beaucoup plus évoluées. Il est donc plus prudent de se fier aux indications fournies par l'*Issiodoromys*, indications qui confirment celles obtenues avec les mammifères recueillis, un peu plus bas stratigraphiquement, dans le sondage de Peissy. Les charophytes du même horizon sont les suivantes :

Tectochara meriani (HEER)

Sphaerochara sp.

Rhabdochara major GRAMBAST et PAUL

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur les "*Calcaires d'eau douce inférieurs*", les deux premières espèces ne donnent aucune indication stratigraphique. La troisième, par contre, se rencontre principalement dans l'Oligocène moyen, c'est à dire, si l'on se base sur les zones de mammifères, de Ronzon à Antoingt, mais cette forme peut monter jusque dans la zone de Cournon.

Plus haut dans la série, la coupe levée à Eclépens ne m'a livré que des charophytes indéterminables, de rares fragments d'os de mammifères ainsi que des dents pharyngiennes de poissons, dont *Leucisus* sp. et des ostracodes qui sont tous à rapporter au genre *Pseudocandona*. Si ces dernières trouvailles ne donnent aucune indication stratigraphique, elles fournissent cependant des données écologiques.

Enfin, il faut mentionner que les bancs de grès plaquetés de la base de la série montrent souvent à la surface des lits de très nombreux fragments végétaux, malheureusement indéterminables.

En conclusion, les indications concordantes fournies par les mammifères et les charophytes permettent de placer les "*Marnes rouges*" dans la zone d'Antoingt.

6.3.2.4 Ecologie et sédimentologie

D'après les indications paléontologiques, il ne fait aucun doute que la sédimentation avait un caractère lacustre prédominant. Il est cependant possible que des influences saumâtres se soient fait sentir, si ce n'est au pied du Jura, au moins dans la partie méridionale du bassin. Par exemple, les poissons du genre *Leuciscus*, dont nous avons trouvé quelques témoins, se rencontrent principalement en eau douce, mais il leur arrive fréquemment de descendre les fleuves pour vivre en eau saumâtre.

Les apports de clastiques se faisaient, pour la plus grande part, depuis le S et représentaient les résidus de l'érosion des Alpes en surrection. Cependant, dans la région du pied du Jura et au voisinage du Mormont, se produisait un certain mélange avec les apports détritiques fournis par les cours d'eau jurassiens. Quelquefois même, dans des zones privilégiées ou lorsque les apports alpins diminuaient d'intensité, la sédimentation jurassienne prenait le pas sur la sédimentation alpine. Nous verrons ainsi, dans les chapitres suivants, que les apports de matériel alpin pouvaient même faire complètement défaut.

Au début de la sédimentation, une partie du matériel est hérité du Sidérolithique, ce qui confère aux sédiments leur teinte rouge caractéristique. L'influence de cet apport diminue au fur et à mesure que l'on monte dans la série.

Si les décharges détritiques grossières en provenance des Alpes ne font que de timides apparitions dans la base de la série, leur importance va progressivement augmenter, mais d'une manière saccadée. Dans la partie inférieure de la série, il ne s'agit que de terminaisons distales d'étalement de matériel sûrement repris par des courants lacustres. Puis, plus haut, l'influence des émissaires alpins se fait nettement sentir et se marque par la présence de chenaux et de stratifications entrecroisées.

Entre les diverticulations fluviales s'étendaient des terres basses, sur lesquelles devait croître une végétation en grande partie herbacée, et des nappes d'eau douce peu profondes. Dans ces dernières, souvent riches en particules détritiques en suspension, vivait une faune assez clairsemée constituée de charophytes, d'ostracodes et de poissons. La faune terrestre est principalement représentée par de petits rongeurs.

6.3.3 "Grès de Loveresse"

6.3.3.1 Généralités

Dans les "*Marnes rouges*", série à dominance marneuse que nous venons de décrire, s'intercalent des passées détritiques quelquefois assez grossières. Ces décharges détritiques sont de deux types très différents.

Le premier type, constitué de grès, représente des apports de matériel alpin ayant pu pénétrer plus loin dans le bassin molassique à la suite de changements survenus dans les conditions hydrodynamiques (crues, divagations fluviales, abaissement du niveau de base, etc.). Cette série de bancs gréseux a été appelée par BERSIER (1953, p. 5) "*Grès de Loveresse*" et définie comme : "*grès calcaire à glauconie associé à une gompholite*".

Le second type, limité au pied du Jura et principalement au SW d'Orbe, est constitué de conglomérats à galets calcaires que les auteurs ont appelés "gompholites".

Ces bancs détritiques ne forment généralement que des intercalations de faible épaisseur dans la série marneuse, aussi les affleurements sont-ils presque inexistants. Cependant, quelques sondages destinés à la reconnaissance du tracé de l'autoroute N1 ont recoupé en partie la série des "*Grès de Loveresse*" environ 1,5 km au S de Bavois. Grâce à l'obligeance de Monsieur J. NORBERT, géologue conseil à Lausanne, j'ai pu échantillonner certains d'entre eux. En ce qui concerne le faciès conglomératique de la région d'Arnex et d'Agiez, je me tiendrai surtout aux descriptions données par mes prédécesseurs car il ne m'a été possible de lever que des coupes fragmentaires dans ces séries. Les affleurements décrits par SCHARDT et même ceux figurés par AUBERT sur la feuille 1202 - Orbe, ont souvent été recouverts lors de récents travaux de terrassement et de remaniement parcellaire.

6.3.3.2 Lithologie et pétrographie

Je traiterai séparément les "gompholites" et les grès.

6.3.3.2.1 Les "gompholites"

Avant de reprendre les descriptions qu'en ont donné les différents auteurs, il me semble

utile de faire un petit historique de l'utilisation et des diverses définitions qui ont été employées pour caractériser ces sédiments. Le nom de gompholite a été utilisé avec des concepts fort divers pour désigner des sédiments conglomératiques. En effet, l'emploi de ce terme présentait parfois un sens très restrictif ou au contraire très large et sous-entendait parfois des notions en rapport avec la genèse, la composition ou même la structure du sédiment.

Dans les premières descriptions de ces sédiments, les auteurs parlent de *nagelfluh* (NICOLET, 1839, p.20). Le nom de gompholite serait donc la traduction française, basée sur des racines grecques, d'un terme allemand. La définition du Grand Larousse est en effet : du grec *gomphos*, clou et *lithos*, pierre. (L'orthographe étymologique serait Gompholithe) Roche bréchoïde, composée de noyaux de roches diverses, agglomérées dans une pâte calcaire.

Cependant, pour les premiers chercheurs, la caractéristique majeure de ces sédiments, ce n'est ni la nature des galets, ni leur forme, ni même la composition du ciment, mais le fait que les galets présentent de nombreuses cupules, c'est à dire que ce sont des galets impressionnés. On lit en effet chez DAUBREE (1848, p. 170) : "M. Lortet a signalé, il y a une dizaine d'années, en Suisse, les impressions concaves que présentent un grand nombre des galets calcaires du nagelfluhe." DAUBREE donne ensuite ses observations personnelles, accompagnées d'un dessin. Ces observations ont été faites dans une carrière près de Delémont où l'on exploite un conglomérat de cailloux de calcaire jurassique. Il écrit : "Le diamètre de ces cailloux dépasse rarement 10 ou 15 centimètres; ils sont entremêlés de sable grossier. Dès qu'on les examine, l'oeil est frappé du grand nombre d'empreintes concaves fort nettes qu'ils présentent; le même caillou offre souvent à la surface 8, 10 ou 12 de ces concavités." Cet auteur ne mentionne cependant pas le terme de gompholite.

Dans son étude du Val de Delémont, GREPPIN (1855, p. 48) donne du "*nagelfluh jurassique*" la définition suivante : "Ce nagelfluh, comme on le sait, est un poudingue de galets jurassiques, ici, en majeure partie portlandiens ou coralliens, jaunâtres, arrondis, marqués à leur surface d'empreintes ou dépressions qui les ont fait appeler *gompholites*." Ces caractéristiques sont reprises par OUSTALET (1870, p. 383) qui écrit : "... on voit à quatre niveaux différents des poudingues de cailloux jurassiques, dont l'épaisseur varie de 0 à 50 à 3 mètres, et dont deux surtout présentent les caractères d'un véritable *nagelfluh*, analogue à celui qui a été signalé par M. Daubrée dans le Jura bernois..."

L'année précédente cependant, JACCARD (1869, p. 114) dans la définition qu'il donne de la gompholite jurassique du Locle ne mentionne même pas l'existence des impressions des galets. Pour cet auteur, ce sont les encroûtements calcaires des galets qui sont importants. Reprenons ici quelques points de sa description : "C'est un entassement généralement informe de fragments plus ou moins volumineux de blocs calcaires, émoussés, mais non arrondis, enveloppés d'un limon calcaire, tantôt pulvérulent et sableux, tantôt tenace et homogène..."

Quant à leur nature, les blocs, comme les galets, se composent dans leur immense majorité de roches calcaires compactes du terrain jurassique supérieur; quelques-uns seulement, très friables, semblent provenir des dolomies portlandiennes...

Une autre particularité de cette formation consiste dans les concrétions noduliformes à couches concentriques qui lui ont valu son nom, et dans ces curieux galets dont l'intérieur est vide, enduit seulement d'un revêtement cristallisé de carbonate de chaux ou quelquefois aussi d'un peu de matière sableuse pulvérulente, comme celle qui les enveloppe. Bon nombre de galets sont aussi encroûtés d'une substance plus ou moins solide, espèce de pralinage qui ne permet pas d'abord de reconnaître leur véritable nature."

En 1880, SCHARDT dans sa "Notice géologique sur la Mollasse rouge", donne en note infra-paginale, page 611, la définition suivante : "J'emploie le mot de *Gompholithe* en préférence à celui de Conglomérat qui a un sens plus général. La Gompholite est un conglomérat monogénique."

Dans sa note sur les terrains tertiaires du département du Doubs, KILIAN (1884, p. 734) emploie indifféremment conglomérat, poudingue, nagelfluh et gompholithe: "Nous ne pouvons rattacher au terrain sidérolithique, ainsi que l'ont fait les auteurs, les conglomérats calcaires qui surmontent dans nos régions le minerai de fer. Ces poudingues (Nagelfluh, Gompholithe) sont parfaitement stratifiés; ils ne se distinguent nullement des conglomérats franchement miocènes qui les recouvrent;..."

Pour L. ROLLIER (1892 et 1898, p. 121) la gompholite est un conglomérat, brèche ou poudingue à éléments calcaires : "La gompholithe ou poudingue calcaire de Châtelat-Sornetan..."

En 1911, dans sa "Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds", FAVRE (p. 404 ss) fait une étude approfondie de la gompholite. Sa description commence ainsi : "La Gompholite forme un dépôt assez puissant de blocs et de galets anguleux réunis par un ciment calcaréo-argileux en général peu consistant."

L'année suivante, ROLLIER (1912), lorsqu'il traite des conglomérats tertiaires, parle de gompholites. Cependant, dans son texte, il semble faire une distinction entre divers conglomérats et une gompholite proprement dite. Ainsi, page 22, il écrit : "La Gompholithe pralinée du Locle, parfois très dure, est parfaitement définie et bien qu'elle puisse apparaître en plusieurs bancs dans les Marnes rouges, elle ne fait pas partie de la Gompholithe proprement dite ou supramiocène. M. Favre a signalé à la Chaux-de-Fonds une alternance de conglomérats et de marnes rouges qui appartient en partie à ce niveau, mais dont la partie supérieure seule est la Gompholithe supramiocène,..". Cet auteur résume ses observations et écrit, page 25 : "Il y a donc, sans compter les conglomérats oligocènes du Jura bernois, ni ceux du pied du Jura qui atteignent le vallon de Noirvaux p.Ste-Croix, au moins quatre conglomérats miocènes dans le Haut-Jura... Les faits sont donc en résumé les suivants :

1. Conglomérats vindoboniens inférieurs et moyens - galets et fossiles albiens en prépondérance, silex hauteriviens nombreux.
2. Conglomérats et brèches des Marnes rouges (Vindobonien supérieur) - blocs et fragments de roches infracrétaciques (hauteriviens et valanginiens) en prépondérance.
3. Conglomérat praliné - roche infracrétaciques et Malm supérieur mélangés.
4. Gompholithe proprement dite ou supramiocène - fragments et blocs du Malm supérieur peu roulés, presque exclusivement."

Comme on le voit, le terme "gompholite" n'a été conservé que pour le conglomérat décrit au point 4. Le texte reste cependant muet sur les raisons de cette différenciation. Est-ce une question d'âge ou de nature des galets? Probablement les deux car on lit, page 31 : "... de manière à lui conserver les caractères pétrographiques de la Gompholithe proprement dite ou miocène supérieur."

Avant de pousser plus loin ces investigations, il est bon de noter, qu'excepté celle de SCHARDT, toutes les descriptions que nous venons de voir concernaient des sédiments tertiaires des synclinaux du Jura. A part BOURQUIN (1946) dont la définition fait, en quelque sorte, une synthèse de celles de ses prédécesseurs, les auteurs suivants vont utiliser le terme de gompholite pour des sédiments externes au Jura et, parfois même, n'y attacheront aucune notion d'âge.

Dans son "Etude pratique des Roches", RINNE (1912, p. 719) met en synonymie *nagelfluh* et *gompholite* : "La Nagelfluh ou Gompholite de Suisse (Righi) est un conglomérat d'âge tertiaire, comprenant des galets de calcaire, grès, granite, gneiss, quartz, etc... avec un peu de ciment calcarosableux. C'est un exemple typique de *conglomérat polygénique*, c'est-à-dire formé de roches diverses. Il doit son nom à la circonstance que les galets sont mis en saillie, comme des têtes de clous ou d'épingles, par désagrégation de la roche. On y rencontre fréquemment des *cailloux impressionnés*, portant l'empreinte de leurs voisins, parfois moins durs qu'eux." Cette définition appelle deux remarques qui indiquent, me semble-t-il, que nagelfluh et gompholite ne sont liées que du point de vue étymologique et que le concept de ces deux lithofaciès est différent.

Premièrement, toutes les définitions vues jusqu'ici, en particulier celle de SCHARDT, insistent sur le caractère, sinon monogénique, du moins monolithologique des galets de la gompholite. Pour RINNE c'est, au contraire, le type d'un conglomérat polygénique. Or, ce dernier caractère est applicable exclusivement à la nagelfluh.

Deuxièmement, s'il est clair que pour la nagelfluh le nom vient bien de l'aspect de "têtes de clous" qu'offrent les galets émergeant de la matrice, ce critère ne peut généralement pas être appliqué à la gompholite. En effet, dans cette dernière les galets sont le plus souvent peu arrondis et ce serait, d'après GREPPIN, les empreintes concaves (en forme de têtes de clous) que portent les galets qui lui ont valu son nom.

Dans ses "Principes de Géologie", FOURMARIER (1933, p. 30) écrit : "Un poudingue à ciment calcaire est appelé gompholite." Cette définition ne donne aucune indication sur la composition pétrographique des galets, les seuls éléments importants pour cet auteur étant la forme des galets et la nature du ciment.

BOURQUIN (1946, p. 14) donnait de la gompholite la description suivante : "Conglomérat formé de blocs et de cailloux à angles émoussés, provenant du Malm supérieur et par places du Crétacé inférieur, unis par un ciment calcaréo-argileux. Les galets sont généralement recouverts d'une incrustation calcaire, blanche ou rose, en couches concentriques."

Cette définition, quoique fort concise, n'est que la synthèse des observations des auteurs précédents et n'apporte aucun élément nouveau.

Les deux définitions de "gompholites" qui suivent concernent des sédiments proches du pied

du Jura. La première est de BERSIER (1953, p. 5) et s'applique à la partie orientale du Mormont : "poudingue monogénique à éléments calcaires". La seconde, due à AUBERT (1963, p. 9), concerne la région W et SW d'Orbe : "... conglomérats calcaires ou gompholite". Dans les deux cas, ces définitions sont trop lapidaires, si j'ose dire, pour pouvoir saisir les implications contenues dans ce terme. Nous allons voir que BERSIER l'applique à des conglomérats monogéniques intraformationnels, ce qui n'avait jamais été le cas, alors qu'AUBERT l'utilise pour les conglomérats, à éléments prétendus jurassiens, décrits par SCHARDT et CUSTER. Dans ce dernier cas, bien qu'utilisé hors de la chaîne du Jura, l'emploi de ce terme aurait pu être justifié s'il s'était réellement agi de matériel uniquement jurassien. Mais, comme nous le verrons plus loin, ce n'est pas le cas, aussi est-il préférable d'abandonner le nom de gompholite.

Pour résumer les quelques données historiques présentées ici et conclure je dirai que, si le sens originel réservé au terme gompholite est, semble-t-il, peu clair, les définitions qu'en donnent les auteurs s'étant attachés à la description du Tertiaire des synclinaux jurassiens sont, à des détails près, assez concordantes. S'il fallait établir une définition synthétique de ce terme, elle pourrait s'énoncer comme ceci : Conglomérat à galets, généralement calcaires, nettement remaniés des séries anté-molassiques, mais d'origine locale. Les galets sont émoussés, rarement arrondis et présentent, dans certains cas, des encroûtements concentriques secondaires. On note la présence de galets impressionnés. Le ciment est variable mais toujours relativement calcaire. Il est bien entendu que l'emploi de ce terme devrait être limité à la chaîne du Jura. Les conglomérats de la région étudiée ne satisfaisant pas, entre autres, à cette dernière condition, je propose de renoncer à l'emploi du terme gompholite pour les caractériser.

Je vais maintenant subdiviser la description des conglomérats rencontrés dans les "*Grès de Loveresse*" en deux chapitres basés sur la répartition géographique des affleurements. En effet, ces conglomérats peuvent être divisés en deux groupes se différenciant par la pétrographie suivant la région envisagée.

a) Région située à l'Ouest d'une ligne ORBE - LA SARRAZ

Les affleurements mentionnés dans la littérature ayant, pour la plupart, pratiquement disparu dans cette région, mes observations sont très fragmentaires et j'y adjointrai les descriptions données par SCHARDT (1880) dont certaines ont été complétées par CUSTER (1928).

Le faciès conglomératique a une extension géographique limitée et s'étend approximativement entre Montcherrand et Pompaples. Il atteint son développement maximum dans la région d'Arnex. Ces conglomérats, se présentant parfois en lentilles, sont interstratifiés avec des bancs de grès assez grossiers et généralement bien cimentés dans des marnes bariolées. Le diamètre des galets, très variable suivant les endroits, est compris entre 1 et 5 cm et ne dépasse que rarement cette dernière valeur.

Pour SCHARDT puis CUSTER, la nature pétrographique des galets était relativement peu variée et leur origine stratigraphique comprise entre le Valanginien et l'Aptien inférieur. Par places, et surtout vers la base, on trouvait de nombreux pisolithes ferrugineux remaniés du Sidérolithique. On notait aussi la présence assez fréquente de fossiles remaniés du Crétacé.

Les observations que j'ai pu faire au Sud d'Arnex, sur la coupe citée par CUSTER (p. 26) ainsi que sur certains bancs dans ce qui semble être les restes d'une des petites carrières citées par SCHARDT (p. 614) et dont les coordonnées approximatives sont 529120/170500, donnent les résultats suivants :

On rencontre bien, comme l'on dit les auteurs précités, des fragments et des pisolithes ferrugineux provenant du Sidérolithique en quantité parfois très importante, des galets d'Aptien et des éléments provenant probablement de l'Urgonien. Par contre, je n'ai pas trouvé, à une exception près et contrairement à ce qui a été mentionné, des galets que l'on puisse attribuer avec certitude au Valanginien ou à l'Hauterivien. Peut-être ceux-ci existent-ils plus haut dans la série. Cependant, les éléments de Crétacé inférieur ne constituent en fait qu'un faible pourcentage des galets. La majorité de ces derniers est représentée par des fragments de Crétacé supérieur et de Tertiaire. En effet, un comptage sur une cinquantaine de galets m'a donné les proportions suivantes :

Tertiaire	29 %
Sidérolithique	8 %
Crétacé sup.	39 %
Crétacé inf.	14 %
Indéterminés	10 %

Même en admettant que tous les galets indéterminés appartiennent au Crétacé inférieur, ceux-ci ne représenteraient environ que le quart des fragments.

Les éléments provenant du Crétacé supérieur sont formés d'un calcaire fin, un peu marneux, pétri de "calcisphères" souvent accompagnées de *Globotruncana* et de *Globigerinidae*. Les proportions relatives des divers types de galets permettent d'affirmer que la longue période de karstification éocène n'avait, par places, que partiellement érodé le Crétacé supérieur et que ce dernier, au début de l'Oligocène, affleurerait sur des espaces relativement grands. Ainsi, dans cette région, les torrents descendant du pré-Jura apportaient dans le bassin molassique les fragments d'un arrière-pays à carapace urgonienne recouverte de lambeaux de Crétacé supérieur. De nos jours, l'érosion a atteint par places la base du Kimmeridgien et il ne subsiste plus de Crétacé supérieur. L'Urgonien est, pour sa part, sérieusement décapé.

Les éléments provenant du Tertiaire, bien que presque exclusivement calcaires, sont de composition et de structure diverses. On note la présence de nombreux fragments de calcaire concrétionné et quelques débris d'un calcaire identique à celui de Pompaples, c'est à dire qu'il contient des galets à auréoles concentriques de calcaire secondaire. Certains galets de calcaires lacustres contenaient eux-mêmes des micro-galets de Tertiaire mêlés avec des micro-galets de Crétacé supérieur. La pâte micritique des galets contenait d'autre part de nombreuses "calcisphères" remaniées et de minuscules débris d'os.

En plus des galets, on note la présence assez fréquente de fossiles remaniés provenant du Valanginien à l'Aptien.

La matrice des conglomérats, de même que les bancs de grès qui les accompagnent ont une composition extrêmement variable. L'unique trait constant réside dans le fait qu'en dehors des grains de glauconie présents dans certains bancs, le seul minéral détritique est le quartz. Je n'ai pas trouvé de feldspaths, même très altérés. La provenance de tous les éléments détritiques dans cette région pourrait donc être la même : le Jura. Le quartz et les pisolithes ferrugineux viennent du Sidérolithique, la glauconie de l'Aptien et les éléments calcaires de toutes les séries antérieures (Valanginien à Stampien y compris).

En lame mince, on remarque la présence de nombreux fossiles remaniés dont les plus fréquents sont :

Plaques et radioles d'oursins
Gastéropodes
Lamellibranches
Belemnites
Algues diverses dont *Microcodium*
Foraminifères
"calcisphères" (souvent très abondantes)

b) Région située à l'Est d'une ligne ORBE - LA SARRAZ

Pour cet horizon, dans cette région, le seul affleurement de "gompholite" cité dans la littérature est celui de Loveresse (A. BERSIER, 1953, p. 5). L'affleurement a aujourd'hui presque entièrement disparu sous la végétation mais, grâce à des sondages de reconnaissance pour l'auto-route, il m'a été possible d'échantillonner cette série.

La "gompholite" n'apparaît que dans le sondage OC 18 (planche 3) et n'a que 10 centimètres de puissance. Il s'agit plutôt d'un grès conglomératique que d'un vrai conglomérat. En effet, la matrice est très importante et les galets, du moins les plus gros, sont assez dispersés. La taille des galets est très variable: il existe tous les intermédiaires entre les plus petits, qui sont de l'ordre de 2 mm et les plus gros, qui dépassent 5 cm.

La nature de ces galets est peu variée : tous ceux de grande taille et certains des petits sont composés d'un calcaire micritique parfaitement homogène et sans structure ni restes organiques, tous les autres sont formés de calcaires plus ou moins argileux et très finement gréseux. Un type de micro-galets étrange, et qui se rencontre à plusieurs niveaux, est constitué par de petites sphères de calcaire argilo-gréseux de diamètre de 1 à 4 mm et dont le centre, représentant environ 1/3 du diamètre total, est en calcite spathique. On pourrait les comparer à des micro-galets armés (Armored mud balls) dont le centre aurait recristallisé.

L'ensemble des éléments atteste, quoique d'une façon bien moins nette que ce que nous verrons dans les "*Grès de Goumoëns*", une origine locale et pénécontemporaine des galets. Il ne s'agit donc nullement de gompholites mais de conglomérats que l'on peut considérer comme intraformationnels.

La matrice est formée d'un grès grossier dont les constituants sont des grains de quartz et, au contraire de ce que l'on a vu dans la région d'Arnex, de très nombreux feldspaths, des débris de radiolarites et de diabases, de la chlorite et des grains de serpentinite. Les grains de glauconie sont assez rares.

La provenance de la majorité des éléments détritiques est donc incontestablement alpine.

6.3.3.2.2 Les grès

Je ne traite ici que de la pétrographie des "Grès de Loveresse" de la région-type. En effet, la pétrographie des grès de la région située à l'Ouest d'Orbe est très peu variée puisque le matériel détritique est d'origine jurassienne. Elle diffère très peu de celle de la matrice des conglomérats qui a déjà été étudiée, aussi je n'y reviendrai pas.

Les grès se présentent en bancs peu épais, guère plus de 50 cm, souvent plaquetés. Le grain est moyen à grossier, plus rarement fin, le ciment calcaire marneux à marneux. Vers la base de la série, les surfaces des plaquettes sont quelquefois couvertes de débris végétaux. Les couleurs dominantes sont les gris-vert et le gris-brun.

Au microscope, en dehors du quartz et des feldspaths bien conservés, on note un nombre important de feldspaths altérés et transformés en calcite. Les minéraux principaux sont les suivants :

	Pourcentages	
	Valeurs extrêmes	Valeurs moyennes
Quartz	33 - 45	40
Feldspaths (Plagioclases y compris)	30 - 47	38
Biotite	2 - 4	3
Micas blancs	1 - 4	2,5
Chlorite	3 - 15	8
Serpentine	2 - 15	8

Comme on le voit dans ce tableau, les variations des teneurs sont trop faibles, sauf pour la chlorite et les fragments de serpentinites, pour être significatives et utilisées en stratigraphie. Aussi, plutôt que de noter les teneurs de tous les minéraux, est-il plus instructif de s'intéresser aux éléments occasionnels ou accessoires. Dans ces grès, on remarque ainsi la présence de fragments, parfois assez nombreux, de radiolarites, quelques fragments très rares et altérés de diabases et, accessoirement, des grains de glauconie. Ce dernier minéral a souvent été mentionné mais, dans la plupart des cas, sa fréquence a été fortement exagérée. En effet, si l'on se contente d'un examen superficiel de la roche à la loupe, on est frappé par la présence de grains dont la teinte vert foncé les fait attribuer à la glauconie. Au microscope, cependant, on s'aperçoit que certains de ces grès, dits glauconieux, ne montrent nulle trace de glauconie mais renferment, par contre, de la chlorite en abondance. Cette dernière provient en grande partie de l'altération de la biotite et, dans une certaine mesure, de celle de la serpentine.

En ce qui concerne les quelques fragments de diabases, leur présence relativement fréquente semble se cantonner à la partie inférieure et, peut-être moyenne, de la série des "Marnes bariolées s.l."; ailleurs, ce ne sont que de très rares débris qui apparaissent occasionnellement. C'est aussi dans les "Marnes bariolées s.l." que se manifeste la quasi-omniprésence des fragments de serpentinites avec, semble-t-il, les fréquences les plus élevées dans les parties inférieure et moyenne de la série. C'est également dans cette série que se rencontrent de très nombreux fragments de radiolarites, ils deviendront beaucoup plus rares, voire absents, dans les "Grès et marnes gris à gypse".

6.3.3.3. Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Les seules faunes que j'ai rencontrées aussi bien dans les conglomérats que dans les grès sont remaniées du Crétacé et du Tertiaire et ne donnent donc aucune indication précise. Les charophytes contenues dans certains galets de calcaires tertiaires et dans les niveaux marneux interstratifiés dans les "Grès de Loveresse" ne fournissent pas d'indications stratigraphiques mais elles montrent, qu'en certains points tout au moins, régnaient des conditions de sédimentation lacustre.

En ce qui concerne l'attribution stratigraphique des "Grès de Loveresse", on se reportera aux conclusions stratigraphiques relatives aux "Marnes rouges". En effet, c'est dans cette dernière série que sont interstratifiés les "Grès de Loveresse".

6.3.3.4 Ecologie et sédimentologie

Le contenu paléontologique fourni par cette série est trop maigre d'une part et, d'autre part mes observations étant limitées à une petite région, il serait illusoire de tenter une reconstitution générale des conditions de sédimentation. Cependant, si l'on admet le quasi-synchronisme des séries de part et d'autre du Mormont, on peut poser certaines hypothèses.

On a vu que l'on distingue nettement, du point de vue pétrographique, deux provinces distinctes.

La première province s'étend au NW du Mormont, entre Pompaples et Orbe. Les éléments détritiques rencontrés proviennent, pour une très grande part, du Jura. Ce sont soit des fragments calcaires, qui forment une portion importante des éléments des conglomérats, soit des grains de quartz et des pisolithes ferrugineux provenant du remaniement du Sidérolithique, soit enfin des éléments détritiques remaniés du Crétacé. Les grains de glauconie doivent aussi provenir d'un remaniement, celui du Gault probablement, peut-être partiellement de l'Hauterivien. Une fraction importante des galets des conglomérats proviennent du remaniement de sédiments tertiaires pénécontemporains ou légèrement plus anciens, mais toujours d'origine molassique. Il m'a été impossible de discerner la présence d'éléments d'origine alpine indubitable.

La deuxième province s'étend au S et à l'E du Mormont. Elle est caractérisée par la présence d'une importante fraction de matériel détritique d'origine alpine indubitable : feldspaths, diabases, serpentinites, radiolarites. Les éléments des conglomérats dérivent très probablement tous de sédiments pénécontemporains, car aucun d'eux ne peut être attribué aux séries antérieures du Jura et plusieurs présentent les traces d'un transport à l'état non parfaitement induré.

Une étude pétrographique de détail des bancs de grès affleurants dans la colline au S d'Orny devrait permettre de préciser la position de la limite entre ces deux provinces.

Avec les quelques éléments à disposition, il m'est impossible d'avancer un modèle général des conditions de sédimentation. Tout au plus peut-on dire qu'au pied du Jura et dans la région du Mormont, la sédimentation devait avoir un caractère à dominance lacustre et continentale. Ceci est attesté par la présence de charophytes à plusieurs niveaux et les restes fréquents, mais très roulés, de vertébrés. La glauconie ne doit pas être considérée comme indicateur de milieu car elle est très certainement remaniée vu sa répartition géographique.

6.3.4 "Calcaires à glauconie"

6.3.4.1 Généralités

Les "Calcaires à glauconie" ont été signalés par BERSIER (1953, p.5) qui mentionne "calcaire à glauconie et *Fissurina* à La Combaz" et par JORDI (1955, p. 29). Cet horizon, qui affleure dans les régions de Bavois et du Mont Chamblon près d'Yverdon, bien qu'ayant probablement une extension géographique très limitée, est intéressant par les problèmes qu'il soulève quant à l'origine de ses constituants. Ces bancs, totalisant au plus quelques dizaines de centimètres, les affleurements décrits dans la littérature sont aujourd'hui presque entièrement recouverts. Cependant, le sondage de reconnaissance OC 24 sur le tracé de l'autoroute au S de Bavois, (coordonnées 533514/169431) m'a permis de prélever des échantillons non altérés à deux niveaux différents.

6.3.4.2 Lithologie et pétrographie

Ces calcaires marneux, finement gréseux, se présentent comme de minces intercalations, de 5 à 15 cm d'épaisseur, dans les marnes auxquelles ils passent insensiblement.

La fraction gréseuse varie entre 5 et 10% tandis que la teneur en calcaire s'élève à 75% environ. Le reste, soit au moins 15% est représenté par la fraction argilo-silteuse. La pétrographie de la fraction détritique est très monotone et composée uniquement de quartz et de glauconie. On remarque en outre la présence de micro-galets ou exoclastes. Certains de ces exoclastes, constitués de calcaire micritique un peu argileux, sont attribuables au Crétacé supérieur, puisqu'ils contiennent des "calcisphères" et des fragments de foraminifères (Globotruncanidés et autres formes planctiques). On note aussi la présence de très gros intra-clastes d'un calcaire identique au calcaire-hôte, mais un peu zoné et dont la fraction détritique est moins importante et beaucoup plus fine.

6.3.4.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Il ne m'a pas été possible, soit en lame mince, soit en lavage, de découvrir autre chose que des fossiles remaniés. En effet, les seuls fossiles présents sont des foraminifères du Crétacé et d'innombrables "calcisphères" remaniées du Crétacé supérieur. Ce sont ces dernières qui sont données, suivant l'ancienne nomenclature utilisée surtout en langue française à la suite de CAYEUX¹, comme *Fissurina*. Or, ce terme désigne actuellement un genre de foraminifères de la famille des *Glandulinidae* REUSS, tandis que les "calcisphères" sont d'origine énigmatique et rangés dans le genre incertae sedis *Pithonella* LORENZ, dont l'extension stratigraphique se limite au Crétacé. Des études en coupes minces et à l'aide du microscope électronique à balayage ont permis d'identifier certaines de ces "calcisphères" comme étant des *Pithonella ovalis* (KAUFMANN), ce qui confirme leur remaniement. De telles "calcisphères" remaniées ont aussi été trouvées, on s'en souvient, dans les galets de Crétacé supérieur et dans le ciment de certains conglomérats de la série des "Grès de Loveresse" dans la région d'Arnex et d'Agiez.

Dans la région d'Yverdon, les "Calcaires à glauconie" ainsi que les "Grès de Loveresse" contiennent, d'après JORDI (1955, p. 29) des foraminifères remaniés assez fréquents, non seulement dans les fragments calcaires mais aussi dans la matrice des différents types lithologiques. Il signale la présence de rotalidés et de globigérinidés parmi lesquels des déterminations spécifiques sont quelquefois possibles, ainsi celle de *Globotruncana (Rotalipora) appenninica* (RENZ).

Ainsi, comme pour la série des "Grès de Loveresse", vu le manque de matériel paléontologique, l'âge de ces calcaires est déduit de nos connaissances sur l'âge des couches sous et sus-jacentes. On se reportera donc aux indications données dans les conclusions stratigraphiques du chapitre 6.3.2.3.

6.3.4.4 Ecologie et sédimentologie

La présence de *Fissurina* et l'abondance relativement élevée des grains de glauconie ont conduit les auteurs antérieurs à considérer ces bancs calcaires comme les témoins d'une sédimentation marine.

Nous venons de voir que le premier argument ne peut être pris en considération puisqu'il ne s'agit pas de *Fissurina* mais de "calcisphères" remaniées du Crétacé supérieur.

Le second point, c'est à dire la présence de glauconie, est plus délicat à traiter. On peut cependant noter les faits suivants :

- a) De même que pour la partie des "Grès de Loveresse" située à l'W d'Orbe, aucun des grains détritiques ne montre une origine alpine indubitable. En effet, les seules espèces minérales sont le quartz et la glauconie.
- b) Les grains de glauconie sont le plus souvent bien arrondis et de taille identique ou légèrement inférieure à celle des grains de quartz qui les accompagnent. On pourrait donc en déduire que leur origine est commune. En outre, des études au microscope électronique à balayage ont permis de voir que la surface des grains de glauconie montre des traces d'usure nette qui témoignent d'un certain transport.
- c) Une avancée de la mer dans le centre du bassin molassique pourrait certainement donner lieu, par contre-coup, à des influences sinon marines, du moins saumâtres sur la bordure septentrionale du dit bassin. Mais, si on replace ces calcaires à glauconie dans leur contexte sédimentologique, on remarque qu'ils sont pris entre des séries inférieure et supérieure qui contiennent les preuves indubitables d'une sédimentation lacustre et continentale et où l'on rencontre, en moins grand nombre il est vrai, des grains de glauconie. Mais le pourcentage moins élevé des grains de glauconie dans les lithologies non calcaires est aisément explicable. Tout au long de la sédimentation, de la glauconie et du quartz proviennent du Jura d'une façon relativement continue. Lorsque se produit le dépôt des calcaires, les apports jurassiens sont prédominants, la glauconie est alors, en dehors du quartz, le seul minéral détritique présent. Lors du dépôt de toutes les autres lithologies, l'apport détritique d'origine alpine est important et il égale ou prédomine sur les apports jurassiens. La glauconie est alors nettement subordonnée aux autres minéraux et ne représente plus qu'un minéral accessoire.

¹CAYEUX, L. (1897) - Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Mém. Soc. géol. Nord., 4/2, p. 589.

Pour conclure, il me semble qu'il est raisonnable de voir, dans le dépôt de ces bancs calcaires, la preuve que, pendant certains laps de temps, et dans une région d'extension géographique très limitée, l'alimentation en matériel détritique d'origine alpine faisait défaut, cédant ainsi le pas à une alimentation venant du Jura. La sédimentation avait alors un caractère plus tranquille autorisant le dépôt de niveaux calcaires.

6.3.6 "Grès de Goumoens" et "Grès de Suscévaz"

6.3.6.1 Généralités

Au-dessus de la série des *"Marnes rouges"*, interstratifiée de passées gréseuses relativement minces et, dans sa partie supérieure, de très rares bancs calcaires, vient par places un horizon gréseux important. Ce dernier, dans la région du Mormont, a été appelé *"Grès de Goumoens"* par BERSIER (1953). Dans la région du Mont de Chamblon, JORDI (1955) a nommé *"Grès de Suscévaz"* une série gréseuse dont la position stratigraphique est sensiblement équivalente.

J'ai déjà soulevé le fait que, dans la Molasse, les niveaux gréseux, même relativement épais, ont des extensions géographiques assez limitées. Pour cette raison, il est illusoire de vouloir chercher le prolongement des *"Grès de Goumoens"* ou des *"Grès de Suscévaz"* vers le SW. Cette recherche serait du reste fort ardue, les affleurements de la partie inférieure des *"Marnes bariolées s.l."* étant très clairsemés dans cette région. Je limiterai donc la description de cette partie de la colonne stratigraphique synthétique aux observations que j'ai pu recueillir sur les coupes des régions-types.

Les coupes sont assez nombreuses aux environs de Goumoens-le-Jux. Ce village est du reste construit au sommet de cette petite série si bien que la route conduisant au bord du Talent la recoupe, permettant ainsi de faire de bonnes observations sur une partie importante des *"Grès de Goumoens"*. La coupe de référence choisie ici est donnée sur la planche 4; elle se trouve plus au NNE, environ 500 m au N du lieu-dit "Le Brésil" (coordonnées approximatives 534975/170030, figure 11).

Pour comparaison, j'ai été prélever des échantillons dans la région de Suscévaz où les conditions d'affleurements ne permettent pas de lever des coupes continues.

6.3.6.2 Lithologie et pétrographie

Du point de vue lithologique, la série se compose presque exclusivement de bancs de grès à structures variées : massifs, plaquetés, à stratification entrecroisée, etc et de rares intercalations plus marneuses. On note aussi la présence de quelques niveaux conglomératiques que, dans la région du Mormont, BERSIER (1953, p. 6) a assimilés à des gompholites.

6.3.6.2.1 Les grès
.....

De types lithologiques et de structures variées, les grès représentent la grande majorité des sédiments de la série puisque leur abondance relative atteint près de 80%. Les types lithologiques représentés sont les suivants :

Grès calcaire	type lithologique	3
Grès marneux	type lithologique	4
Calcaire gréseux	type lithologique	9
Calcaire argilo-gréseux	type lithologique	10

La stratification est quelquefois absente à la base des bancs épais mais, en général, elle est assez fine : plane-parallèle et peu visible lorsqu'elle se situe au sommet des gros cycles gréseux, plaquetée, oblique et entrecroisée. C'est souvent entre des bancs ou même à l'intérieur des bancs présentant ce dernier type de stratification qu'on rencontre les niveaux conglomératiques ou "gompholites". On note aussi, à certains niveaux, la présence de galets mous. Ils sont principalement limités à la base des bancs gréseux mais on en observe quelquefois vers le sommet des bancs alors que la base en est dépourvue.

Du point de vue pétrographique, ces grès sont caractérisés par la prédominance des feldspaths, le quartz leur étant nettement subordonné.

Un autre trait saillant est l'abondance des grains de serpentinites qui peuvent représenter quelquefois plus de 20% de la fraction détritique. La chlorite est le plus abondant des minéraux

PLAN DE SITUATION

Coupe : Le Brésil

Planche n°: 4

"Formation" : *Grès de Goumoens (Marnes bariolées s.l.)*

N° Echantillons : 1237 - 1249

Feuille n° 1223 - ECHALLENS de la Carte nationale de la Suisse au 1:25000

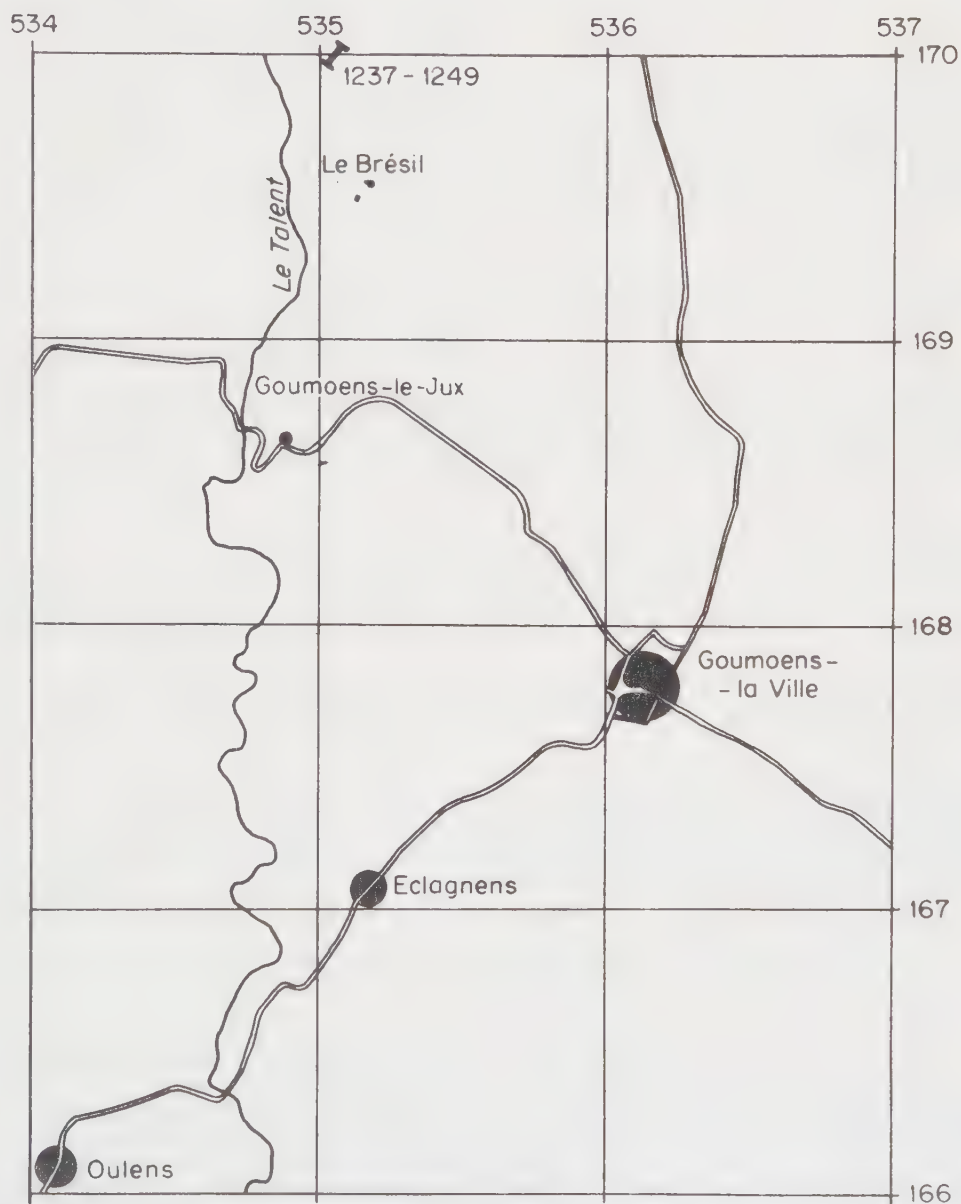


Figure 11

phylliteux.

En ce qui concerne les fragments de roches, en dehors des galets de Crétacé supérieur signalés par JORDI (1955, p. 30) dans la région de Suscévaz, on note la présence de débris très fréquents de radiolarites et quelques fragments de diabases.

6.3.6.2.2 Les conglomérats

Dans les "*Grès de Goumoens*" apparaissent quelques passées conglomératiques de divers types.

Le premier est constitué de galets d'origine jurassienne qui, à la faveur de quelques crues, ont pu pénétrer dans le bassin molassique. Nous avons déjà eu l'occasion d'en parler dans le chapitre consacré aux "*Grès de Loveresse*". Leur importance dans cette série est minime : ce ne sont généralement que quelques petits galets égarés dans les grès.

Le second type est très commun dans toute la série molassique puisqu'il s'agit des galets de marnes ou "galets mous". Ils représentent le remaniement, par une arrivée de matériel gréseux souvent grossier, de sédiments fins récemment déposés et non complètement lapidifiés. Contrairement au type précédent, leur transport s'est effectué sur une très faible distance, probablement de l'ordre de quelques mètres à quelques dizaines de mètres en général. Des expériences dans le but de déterminer la vitesse d'usure des galets argileux en fonction de la vitesse et de la distance du transport ont été effectuées par SMITH (1972) et elles confirment les hypothèses émises à la suite des observations faites sur les séries anciennes.

Le troisième type, le plus intéressant, est du point de vue génétique très voisin du type précédent. Seul le sédiment de base est différent puisqu'il s'agit, cette fois, non plus de marne ou d'argile mais de calcaire. En effet, les conglomérats que l'on observe dans la région de Goumoens-le-Jux ne sont pas constitués de galets allochtones d'origine jurassienne, comme pourrait le faire croire le nom de gompholite que leur ont donné les auteurs. Les observations que j'ai effectuées sur plus de 50 galets peuvent se résumer ainsi :

a) Aucun des galets ne contient une microfaune qui permette son attribution à un quelconque horizon de la série stratigraphique du Jura. Les calcaires de la base de la série molassique, eux, sont presque tous dépourvus de fossiles.

b) Du point de vue pétrographique, la majorité des galets présente des affinités nettes avec les calcaires molassiques. Certains, par exemple, ont une structure rappelant, la glauconie en moins, ce que nous avons pu observer dans les "*Calcaires à glauconie*". D'autres, contenant des galets internes, rappellent ceux qu'on observe dans les "*Calcaires d'eau douce inférieurs*".

c) De nombreux galets montrent des craquelures de dessiccation, souvent rayonnantes. Il serait étonnant de constater de pareils phénomènes dans des fragments de roches déjà consolidés tels que l'étaient les sédiments du Jura à cette époque.

d) Quelques rares fragments enfin, présentent des déformations du litage interne et des interpénétrations réciproques entre galets qui n'ont pu se produire qu'à l'état relativement plastique.

L'ensemble de ces faits milite en faveur d'une origine locale et pénécotemporaine des galets. Le nom de gompholite doit donc être abandonné. Le ciment étant de nature pétrographique très différente de celle des éléments, il est peut-être aussi déconseillé d'utiliser le terme d'intraformationnel qui, cependant, a l'avantage de sous-entendre une origine autochtone des galets.

La taille des galets est très variable : de quelques millimètres à près de 10 centimètres.

6.3.6.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Dans les "*Grès de Goumoens*", de même que dans la plupart des séries gréseuses, les fossiles sont quasi inexistants. Ainsi, dans la coupe que j'ai levée au N du lieu-dit "Le Brésil" (planche 4), seul un niveau m'a livré quelques débris d'organismes. Cependant, les foraminifères rencontrés sont trop abîmés pour être déterminables et sont vraisemblablement remaniés du Crétacé. Les rares fragments de vertébrés, quant à eux, ne donnent aucune indication stratigraphique. Sous Goumoens-le-Jux, il semble que certains niveaux seraient susceptibles de contenir des restes de mammifères. Des travaux de recherches devraient être menés dans ce sens, ce qui permettrait sans doute de préciser les idées actuelles assez vagues que nous possédons sur l'âge de cette série.

En effet quelques restes de vertébrés ont déjà été trouvés mais le petit nombre de dents

ainsi que leur relativement mauvais état de conservation ne permettent pas de déterminations spécifiques.

Les faunes rencontrées sont les suivantes :

A la base de la série, JORDI (1955) a trouvé à Suscévaz (coordonnées 534000/179240)

Caenotherium sp.
Amphitragulus sp.
Rodentia indet.
Archaeomys sp.
Issiodoromys sp.

Un peu plus haut dans la série, HÜRZELER (1940) a découvert dans la région de Goumoens-le-Jux. (coordonnées 533700/168150 et 534750/167950)

Insectivora indet.
Rhinocerotidae indet.
Ruminantia indet.
Rodentia indet.
Archaeomys sp.
Heterocricedoton sp.

Bien que sans pouvoir déterminer les espèces, HÜRZELER (1940) pense, d'après la forme évolutive des faunes rencontrées, qu'il pourrait encore s'agir du Stampien moyen. En conséquence, il faut placer, jusqu'à plus ample informé, les "*Grès de Goumoens*" dans la partie supérieure de la zone d'Antoingt.

A l'heure actuelle, par comparaison avec les nombreuses découvertes faites en France et en Allemagne notamment, une révision de ces faunes et quelques trouvailles supplémentaires permettraient sûrement de faire des déterminations spécifiques et de préciser la position stratigraphique de cet horizon.

Signalons enfin que cette série est riche en restes végétaux mais que leur détermination est impossible. Il s'agit, pour la plus grande partie, de fragments de bois flottés, souvent partiellement transformés en lignite et généralement fortement pyriteux. C'est à cette forte teneur en pyrite que sont dues, par suite de l'altération, les auréoles rouges d'oxydes de fer que l'on rencontre dans les grès.

En conclusion, les "*Grès de Goumoens*" sont probablement à placer dans la partie supérieure de la zone d'Antoingt.

6.3.6.4 Ecologie et sédimentologie

Si nous possédons fort peu de données sur les "*Grès de Goumoens*", on peut toutefois penser que la sédimentation était en majorité fluviatile et dominée par les apports alpins (nombreux feldspaths, débris de serpentinites, de radiolarites et de diabases). Dans certaines régions de cette basse plaine existaient des étendues d'eau tranquille où se déposaient des marnes et parfois même des calcaires. Des crues ou des divagations fluviales provoquaient l'irruption soudaine, dans ces zones tranquilles, de courants érosifs qui emportaient des lambeaux des sédiments fins non complètement consolidés. Les fragments de marne donnaient des galets mous, les fragments calcaires, plus consistants, pouvaient être parfois roulés assez loin, puis abandonnés. Ils étaient alors partiellement soumis à dessiccation avant d'être repris, peut-être plusieurs fois, pour pouvoir enfin se sédimenter.

De même que dans les autres termes de la série molassique vus jusqu'à présent, les zones situées près du pied du Jura recueillaient, en plus des apports alpins, les résidus de l'érosion jurassienne.

Sur les terres émergées de la partie haute des deltas alpins, et même plus au S, devait croître une végétation relativement importante, si l'on en juge par les dimensions des fragments de bois flottés. Dans les basses plaines, où paissaient des cervidés et d'autres petits ruminants et où vivaient des rongeurs, croissait une végétation en majorité herbacée, parsemée de petits buissons.

La faune, ainsi que les conditions écologiques des zones submergées, nous sont inconnues.

6.3.7 "Marnes bariolées s.str."

6.3.7.1 Généralités

Je voudrais mentionner d'emblée que pour la partie de la série molassique comprise entre les "Grès de Suscévaz" ou "Grès de Goumoens", à la base et le "Grès de Mathod", au sommet, JORDI (1951, 1955) utilise le terme de "Marnes bariolées inférieures". Cet auteur a recours à la dénomination d'"inférieures" par opposition aux "Marnes bariolées supérieures" qui sont aquitaniennes.

Pour ma part, je préfère limiter au strict minimum l'usage d'adjectifs impliquant une notion de relativité. Aussi, pour désigner cette série, j'emploierai le terme de "Marnes bariolées s.str.". Je rappellerai également que le terme "Marnes bariolées", sans autre indication ou "Marnes bariolées s.l." s'applique à toute la série molassique antérieure aux "Calcaires d'eau douce et dolomie" (voir tableau 1).

Cette partie de la série, bien qu'à dominance marneuse, est située assez haut dans la colonne stratigraphique, aussi affleure-t-elle, sur notre territoire d'investigation, d'une façon plus générale que les termes inférieurs. Ceci lui a valu d'être l'objet, depuis longtemps déjà, de nombreuses études.

Après les courtes mentions, à caractère principalement historique, faites par DE SAUSSURE (1779) pour la région genevoise et celles, déjà plus complètes, de RAZOUMOWSKY (1789) pour le Plateau vaudois, on relève des travaux plus importants. Parmi ceux-ci nous citerons, dans l'ordre chronologique, les plus marquants.

Après STUDER (1825), qui ne considère que certains points précis du Tertiaire des cantons de Vaud et Neuchâtel, le premier ouvrage important est celui de NECKER (1841). C'est cet auteur qui introduira le terme de "Mollasse rouge" pour désigner les sédiments de la base de la série molassique, réservant le nom de "Mollasse d'eau douce" à la partie supérieure qui comporte de minces niveaux de lignite et du gypse. Ses observations précises sur la région de Genève et les environs de Lausanne nous sont fort utiles, bien des affleurements décrits ayant aujourd'hui disparu.

Il en va de même avec les travaux de FAVRE (1879) sur le canton de Genève et ceux de SCHARDT (1880) sur le pied du Jura vaudois. Les autres ouvrages importants sont des monographies régionales dont les périmètres sont donnés sur la figure 1. Il me reste à mentionner, pour terminer, la synthèse concise des travaux antérieurs et l'importante contribution à la stratigraphie de RIGASSI (1957) sur le Tertiaire de la partie occidentale du bassin lémanique et des zones adjacentes.

En dehors des renseignements épars fournis par la littérature, les coupes ayant servi de base à notre étude sont celles levées par JORDI (1955, pl. IV, fig. 4 et 26), PAREJAS (1938, p.7) ainsi que quelques coupes levées par moi-même. Ces dernières proviennent de la région de Morges (planches 5, 6 et 7, sauf les N^{os} 1142 à 1145), de Vermont près d'Yverdon (pl. 8) et de Valeyres-sous-Rances (pl. 9 et base de la pl. 12 depuis le N^o 476). Pour la situation géographique des coupes, on se référera aux figures N^{os} 2, 12, 13, 14.

En ce qui concerne les positions stratigraphiques respectives des coupes levées dans la Morges, elles s'établissent comme suit :

Le sommet de la planche 7 vient moins de 10 m sous la base de la planche 15 ou, si l'on préfère, environ 30 m sous la base des "Calcaires d'eau douce et dolomie". Les bancs 1131 et 1130 de la planche 7 correspondent respectivement aux bancs 1165 et 1164 de la planche 6. Sous cette dernière vient une lacune de 35 m environ avant d'atteindre la coupe figurée à la planche 5. Cette coupe représente les sédiments les plus anciens relevés le long du cours de la Morges.

En ce qui concerne la région de Valeyres-sous-Rances, les bancs 510, 509 et 508 doivent vraisemblablement correspondre relativement aux bancs 493, 494 et 495 de la planche 12.

6.3.7.2 Lithologie et pétrographie

Sur le Plateau vaudois, cette série à dominance marneuse des "Marnes bariolées s.str." est nettement moins variée du point de vue des lithofaciès que ne l'étaient, dans la même région, les "Marnes rouges". On note la disparition des Grès argileux (lithofaciès 2), des Grès calcaires (lithofaciès 3) et des Argiles gréseuses (lithofaciès 5). En revanche, vers le haut de la série apparaissent, de façon bien timide il est vrai, des bancs assez minces de calcaire (lithofaciès 12). Contrairement aux rares bancs de calcaire marneux à glauconie (lithofaciès 11) observés au-dessus des "Grès de Loveresse" et qui ne contenaient, dans les meilleurs des cas, guère plus de 75% de CaCO₃, les calcaires rencontrés ici titrent plus de 95 % de CaCO₃.

PLAN DE SITUATION

Coupe : La Morges

Planches n°: 5,6,7

"Formation": *Marnes bariolées s. str.*

N° Echantillons : 1220 - 1236, 1146 - 1169, 1130 - 1145.

Feuille n° 1242 - MORGES

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

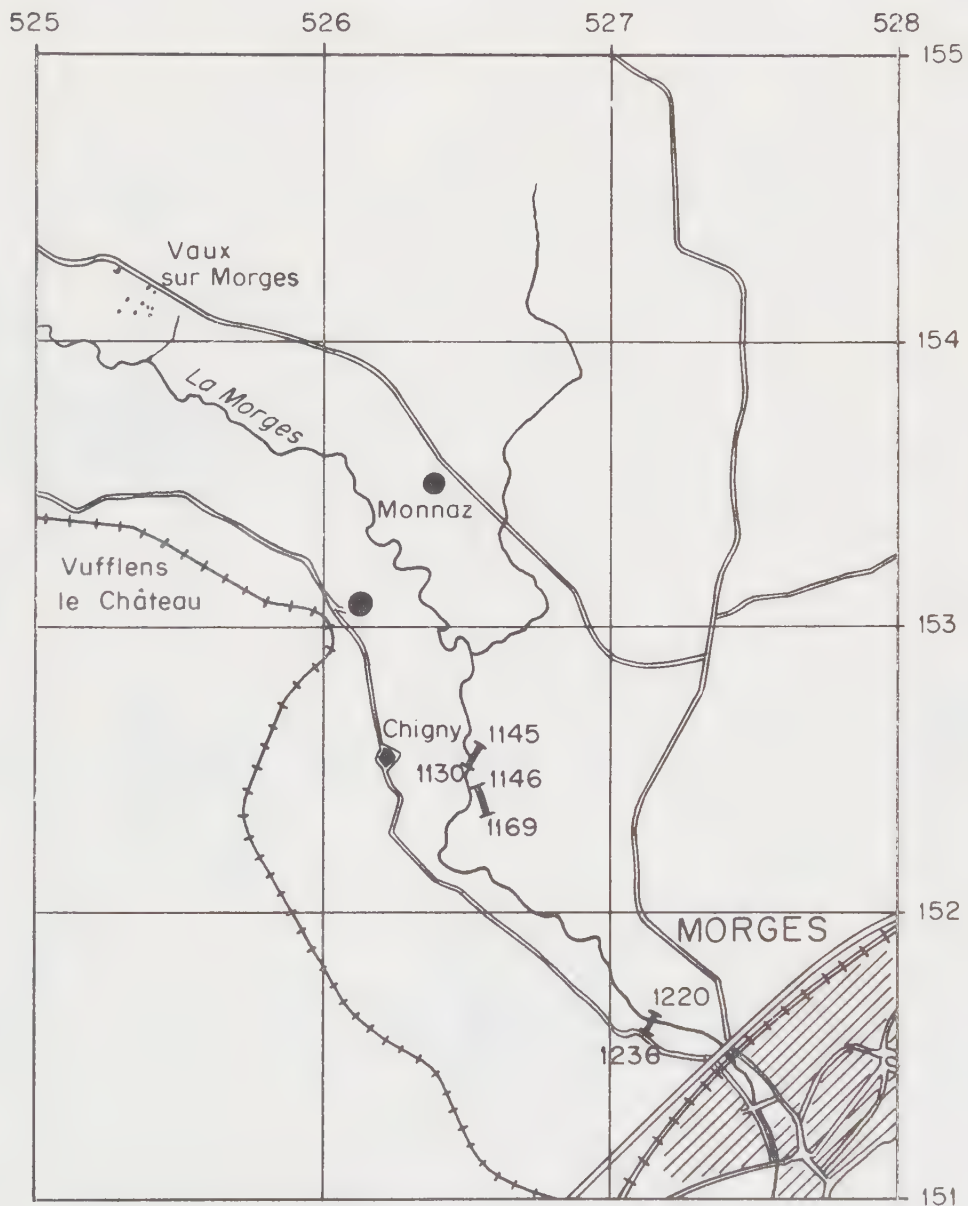


Figure 12

PLAN DE SITUATION

Coupe : Vermont

Planche n°: 8

"Formation" : *Marnes bariolées s. str.*

N° Echantillons : 307 - 337

Feuille n° 1203 - YVERDON

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25 000

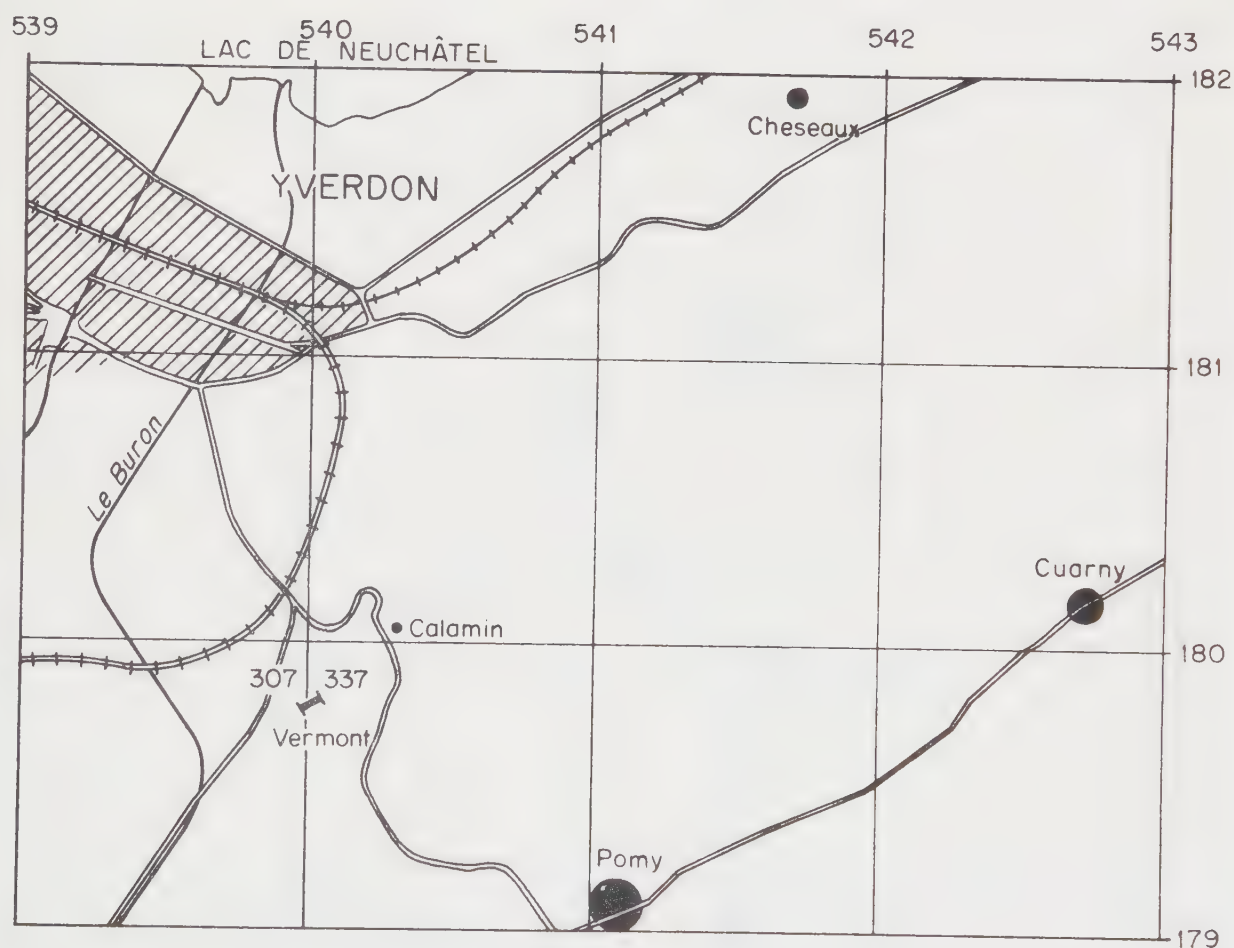


Figure 13

PLAN DE SITUATION

Coupe : Valeyres ^{s/} Rances

Planches n°: 9, 12.

"Formation" : *Marnes bariolées s. str.* + *Calcaires d'eau douce*

N° Echantillons : 498 - 510 et 434 - 497

Feuille n° 1202 - ORBE

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25 000

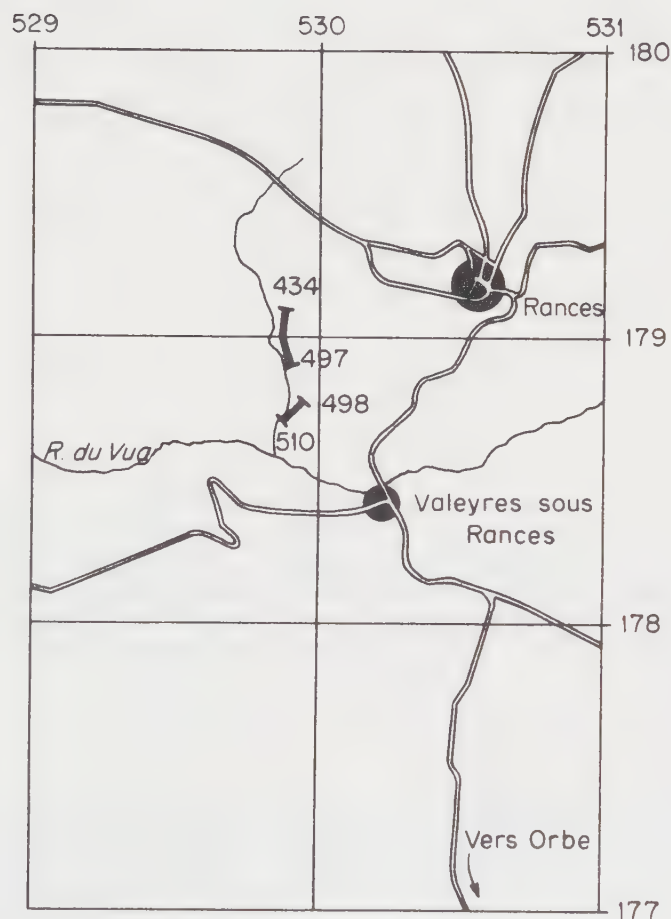


Figure 14

Les tableaux 4 et 5 ci-dessous donnent une idée de la répartition des fréquences et des épaisseurs relatives des différents termes lithologiques dans trois régions. On pourra les comparer avec le tableau 3, dans le chapitre consacré aux "Marnes rouges".

En ce qui concerne la répartition spatiale des lithofaciès dans le diagramme triangulaire, on consultera la figure 6 f qui présente les résultats obtenus dans la coupe de la Morges.

LITHOFACIES	VERMONT	MORGES	VALEYRES	MOYENNES	
4	9,5	5,5		5	91,5
6	13	7,5	5,5	8,5	
7	9,5	13	11,5	11	
8	68	70,5	77,5	72	
12		3,5	5,5	3,5	

TABLEAU 4: RÉPARTITION DES FRÉQUENCES DES LITHOFACIÈS (EN %)

LITHOFACIES	VERMONT	MORGES	VALEYRES	MOYENNES	
4	12	10		7,5	92
6	14	5,5	3,5	7,5	
7	5	8,5	11	8,25	
8	69	75,5	84	76,25	
12		0,5	1,5	0,5	

TABLEAU 5: ÉPAISSEURS CUMULÉES PAR LITHOFACIÈS (EN %)

Pour ce qui a trait à l'éventail des lithologies rencontrées, ces tableaux démontrent clairement l'extrême monotonie des "Marnes bariolées s.str.". En effet, un peu plus des 90% des sédiments, aussi bien du point de vue des fréquence des bancs que de celui des épaisseurs, sont représentés par les termes argilo-marneux. Les grès et les calcaires sont très subordonnés sur le Plateau vaudois. Il semble par contre que, dans le Bassin genevois, les grès soient un peu plus fréquents et plus variés mais que les calcaires fassent défaut.

6.3.7.2.1 Les grès

Les grès se présentent généralement en bancs assez minces, de l'ordre de 50 cm environ. Si le banc est plus épais, il passe insensiblement au sommet à une marne gréseuse puis à une marne. On rencontre généralement le lithofaciès 4 mais le lithofaciès 10 n'est pas rare dans la partie la plus occidentale du bassin.

Du point de vue pétrographique, le quartz est, semble-t-il, un peu plus abondant que les feldspaths. Le pourcentage de ces derniers peut représenter jusqu'à 30% des minéraux détritiques. Les micas blancs ainsi que la biotite, souvent en voie de chloritisation, sont fréquents, de même que la chlorite. Comme dans les séries précédentes, les fragments de serpentinites sont relativement communs. Le ciment est généralement fortement "argileux".

Les grès sont en général de couleur gris-vert, quelquefois légèrement ocreux. Les taches lie-de-vin sont rares.

6.3.7.2.2 Les argiles et les marnes

Les argiles (lithofaciès 7) sont relativement fréquentes et sont les seuls sédiments de ce groupe qui ne contiennent pour ainsi dire pas de détritiques grossiers, jamais plus de 5%. En effet, si l'on regarde les courbes des pourcentages des détritiques et celle de la teneur en carbonate, on constate que, très souvent, au contraire des termes argileux, les termes marneux (lithofaciès 8) comportent une plus ou moins forte proportion de détritique. C'est cette caractéristique qui, sur le terrain, induit bien souvent en erreur et fait confondre des marnes, si elles sont dures et gréseuses, avec des grès. Ainsi, certaines coupes décrites dans la Morges par VERNET (1956) et que j'ai reprises pour en déterminer les types lithologiques par des méthodes de laboratoire, diffèrent très nettement. Si l'on compare, par exemple, la figure 10, page 176, donnée par VERNET avec la planche 5 en sachant que les niveaux d'argile noire N^{os} 12 et 14 sont les équivalents respectifs des sommets de 1227 et de 1230 et que les niveaux 5 et la base du 20 correspondent respectivement aux niveaux 1222 et 1235, on constate que VERNET obtient 8,90 m pour les sédiments gréseux. De mon côté, même en comptant le lithofaciès 6 comme un grès, je n'obtiens que 1,80 m.

Mon but ici n'est pas de multiplier les comparaisons mais simplement de signaler un point qui a son importance quand on confronte, comme l'a fait à tort FAVINI (1970, 1972) plusieurs travaux dont les méthodes d'élaboration sont différentes et que l'on en tire ensuite des conclusions générales.

Du point de vue pétrographique, les marnes sont constituées en majeure partie par du quartz détritique, en particules de taille inférieure à 50 microns, de la calcite et quelques micas. Le pourcentage des minéraux des argiles est parfois très faible. Les termes "argileux" (lithofaciès 7) sont caractérisés par leur pauvreté en calcaire et en minéraux détritiques de grande taille. Du point de vue pétrographique cependant on note une grande analogie avec les marnes, c'est à dire une forte teneur en quartz.

Les couleurs les plus fréquentes sont les tons rouge et ocre, qui sont généralement mêlés dans les sédiments. Il s'y ajoute fréquemment des taches gris-vert. Il est rare de trouver des bancs marneux d'une seule couleur.

6.3.7.2.3 Les calcaires

Ce type lithologique n'apparaît que dans la partie supérieure de la série et d'une façon très sporadique du reste. Les bancs sont minces, de 5 à 30 cm, et montrent fréquemment une surface supérieure irrégulière, quelquefois surmontée d'une très mince zone un peu feuilletée, riche en matière organique (sapropèle). De minces fentes irrégulières et des perforations affectent souvent la partie supérieure des bancs. Elles sont remplies d'un matériel argileux vert, tranchant sur le fond brun foncé de la roche. A Valeyres-sous-Rances, un banc calcaire (491, pl.12) contient de très nombreux terriers, dont certains traversent le banc de part en part, et présentent des traces de bioturbation.

Au microscope, on note la présence fréquente de characées et d'autres débris d'algues, d'ostracodes et de rares débris de coquilles.

En un seul point (Valeyres-s/Rances, partie supérieure du banc 491) on peut observer un sédiment dont la teneur en CaCO₃ est supérieure à 90% mais qui ne se présente pas comme les autres bancs de calcaire. De teinte presque blanche, il rappelle, par sa structure, les craies lacustres.

6.3.7.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Bien que relativement peu fréquents dans les "*Marnes bariolées s.str.*", les fossiles sont cependant nettement plus abondants que dans les séries décrites précédemment.

Le groupe le plus important, aussi bien par la variété des espèces rencontrées que par les résultats stratigraphiques qu'il offre, est celui des mammifères. Mis à part quelques trouvailles isolées et, souvent, déjà anciennes, ce sont JORDI (1955) pour la région d'Orbe-Yverdon et RIGASSI (1957) pour la partie occidentale du bassin lémanique, qui ont découvert les gisements les plus importants pour la stratigraphie.

Seules les parties moyenne et supérieure des "*Marnes bariolées s.str.*" ont livré des fossiles déterminables. Les gisements principaux, classés plus ou moins stratigraphiquement et de haut en bas, ont livré les faunes suivantes :

Le Bey - Calamin (région d'Yverdon)

Peratherium sp.
Insectivora indet.
Caenotherium sp.
Amphitragulus sp.
Eomyidae indet.
Rhodanomys sp.
Myoxidae

Sciuridae
Steneofiber sp.
Archaeomys sp.
Issiodoromys sp.
Eucricetodon sp. div.
Eucricetodon aff. *murinum*
Eucricetodon praecursor (SCHAUB)

Nant d'Avril - Humilly (région genevoise)

Peratherium sp.
Insectivora indet.
Caenotherium sp.
Rodentia indet.
Issiodoromys sp.
Issiodoromys pseudanaema GERVAIS = *terminus* STEHLIN & SCHAUB

Toujours dans la région genevoise, à Epeisses, un gisement dont la position est malheureusement inconnue a livré :

Archaeomys laurillardii GERVAIS

Entre ces deux régions, le seul reste de mammifère découvert l'a été par RIGASSI, à l'Ouest de Bougy. Il s'agit de

Archaeomys sp.

Bien que les déterminations spécifiques soient peu nombreuses, on peut cependant, grâce à

Eucricetodon aff. *murinum*
Eucricetodon praecursor
Issiodoromys pseudanaema

et *Archaeomys laurillardii* attribuer la partie moyenne et supérieure des "*Marnes bariolées s.str.*" au sommet de la zone de Cournon et à la base de celle de Coderet, c'est à dire aux sous-zones d'Aarwangen et de Rickenbach.

En ce qui concerne les ostracodes, G. CARBONNEL de Lyon a pu déterminer :

Pseudocandona sp.
Ilyocypris böhli TRIEBEL

Typhlocypris sp., espèces qui, si elles ne donnent pas d'indications stratigraphiques, sont utilisables du point de vue écologique.

Les charophytes sont parfois abondantes. Madame M. FEIST-CASTEL a pu déterminer les espèces suivantes :

Sphaerochara sp.
Sphaerochara hirmeri (RASKY)
Sphaerochara parvula (REID ET GROVES)
Croftiella escheri (UNGER)
Tectochara meriani (HEER)
Rhabdochara praelangeri CASTEL

Bien des espèces citées ci-dessus ont des extensions stratigraphiques trop étendues pour permettre une datation précise. Toutefois, il semblait que deux espèces, dont les extensions connues sont assez restreintes, auraient pu être utilisées avec profit. Il s'agit de *S. hirmeri*, limitée à l'Oligocène supérieur, et de *R. praelangeri*, caractéristique de la zone de Marseille-Saint-André dans l'échelle des zones de charophytes (CASTEL, 1968). La zone de Marseille-Saint-André correspond, dans l'échelle des zones de mammifères, à la zone de Cournon et à la partie inférieure de celle de Coderet. Nous verrons cependant que, dans notre cas, *R. praelangeri* se retrouve jusque dans les couches de passage à l'Aquitanién où elle est même très fréquente.

Les autres témoins de la faune sont des fragments de gastéropodes (planorbes, hélicidés), des lamellibranches (unios), quelques dents pharyngiennes de poissons (*Leuciscus* sp.) et des fragments de carapaces de tortues.

En conclusion, les seules indications stratigraphiques précises sont donc fournies par les mammifères qui permettent de placer les "*Marnes bariolées s.str.*" dans la zone de Cournon et dans la partie inférieure de la sous-zone de Rickenbach.

6.3.7.4 Ecologie et sédimentologie

Les ostracodes et charophytes des "*Marnes bariolées s.str.*" attestent la pérennité d'un milieu de sédimentation lacustre. Par rapport aux "*Marnes rouges*", les conditions de sédimentation, au moins en ce qui concerne le Plateau vaudois, étaient plus tranquilles. En effet, les bancs de grès sont peu nombreux et relativement minces. Peut-être que la tranche d'eau était un peu plus forte, au moins dans la partie Sud, empêchant ainsi les arrivées détritiques grossières de gagner la partie N du bassin. On peut aussi envisager un déplacement de l'axe des apports détritiques vers le SW ou un recul de la côte méridionale dû à un enfoncement du bord S du bassin. Quoi qu'il en soit, on est conduit à supposer un changement des conditions physiographiques pour expliquer cette évolution sédimentologique au centre du Plateau vaudois.

Vers le haut de la série, on assiste à de courtes périodes de ralentissement, voire d'arrêt des apports détritiques, ce qui autorise, par places, le dépôt de minces bancs calcaires.

Dans la partie SW du bassin lémanique (région genevoise), probablement plus proche des embouchures des tributaires alpins, ou tout au moins plus directement atteinte par eux, les apports détritiques étaient plus fréquents et la sédimentation plus irrégulière.

La faune lacustre est peu variée. On trouve des poissons du seul genre *Leuciscus*. Les mollusques sont représentés par des planorbes et des unionidés. Les ostracodes sont à peine plus diversifiés que dans les séries antérieures. La flore lacustre se compose de charophytes.

La faune terrestre comporte quelques gastéropodes (hélicidés) et de nombreuses espèces de mammifères parmi lesquels les rongeurs sont les plus fréquents.

6.3.8 "Grès de Mathod"

6.3.8.1 Généralités

Dans la région d'Yverdon, JORDI (1955, p. 36) définit, sous le terme de "*Grès de Mathod*", un complexe gréseux se plaçant au toit des "*Marnes bariolées s.str.*" et juste sous la série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*" (tableau 1).

Contrairement aux termes de la série molassique décrits jusqu'ici et qui n'affleuraient généralement qu'en peu d'endroits et dans des régions très circonscrites, le sommet des "*Marnes bariolées s.str.*" ainsi que la base des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" affleurent en maints endroits. Ce fait permet de noter la présence éventuelle d'un complexe gréseux que l'on pourrait assimiler au "*Grès de Mathod*".

De même que pour tous les niveaux gréseux, même importants, sa valeur stratigraphique est des plus limitées. Les coupes levées dans cet horizon à Valeyres-sous-Rances, au SW de Mathod, et figurées aux planches 11 et 12 sont à cet effet très significatives. Lorsqu'on sait que ces deux coupes sont distantes de moins de 20 m et que les bancs 464 et 465 de la planche 12 passent latéralement aux bancs 471 et 472 de la planche 11 d'une part, et que les bancs 467 et 468 de la planche 12 se confondent dans le banc 474 de la planche 11 d'autre part, on se rend compte de l'importance des variations latérales.

Je pense que ce seul exemple illustre l'inanité d'une stratigraphie basée uniquement sur les caractéristiques lithologiques des horizons, particulièrement lorsque ces derniers sont détritiques. Dans les séries à sédimentation calcaire dominante ou à niveaux palustres fréquents et bien développés, traduisant des conditions sédimentaires calmes, les bancs calcaires ou les niveaux palustres sont des horizons, relativement parlant, beaucoup plus constants et nous verrons qu'il est parfois possible de les suivre sur d'assez grandes distances.

Les autres coupes où l'on devrait pouvoir observer le "*Grès de Mathod*" sont celles figurées sur la planche 7 pour la région de Morges, la planche 10 pour la région d'Yverdon et la planche 14 pour la zone d'Essert-Pittet. Qu'en est-il effectivement ?

Dans la Morges (pl. 7, niv. 1141), on note la présence d'un chenal important, ravinant profondément les marnes sous-jacentes. Il est surmonté par deux gros bancs de grès. Au-dessus, la suite de la série est constituée de marnes, partiellement couvertes, dans lesquelles sont intercalés des bancs de grès parfois relativement épais. Cette partie de la coupe, très lacuneuse, n'est pas figurée. La suite de la coupe est représentée par la base de la planche 15. Si on y note bien la présence de niveaux gréseux, il n'apparaît qu'un seul banc de grès : le 1082. Tous les autres niveaux sont des marnes plus ou moins gréseuses. En conclusion, si l'on tient à trouver un équivalent du "*Grès de Mathod*" dans la région de Morges, on peut considérer qu'il est représenté

PLAN DE SITUATION

Coupe : Valeyres s/ Rances

Planche n°: 11

"Formation" : *Grès de Method*

N° Echantillons : 463 - 476

Feuille n° 1202 - ORBE

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

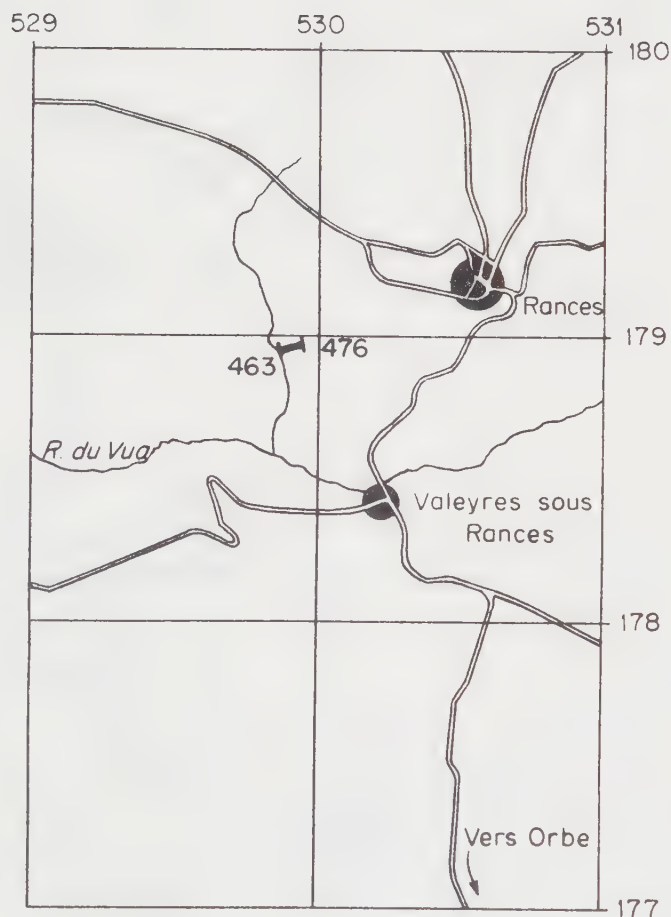


Figure 15

PLAN DE SITUATION

Coupe : Côtes de Calamin Planche n°: 10

"Formation" : *Grès de Mathod et Calcaires d'eau douce
et dolomie*

N° Echantillons : 338 - 371

Feuille n° 1203 - YVERDON

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

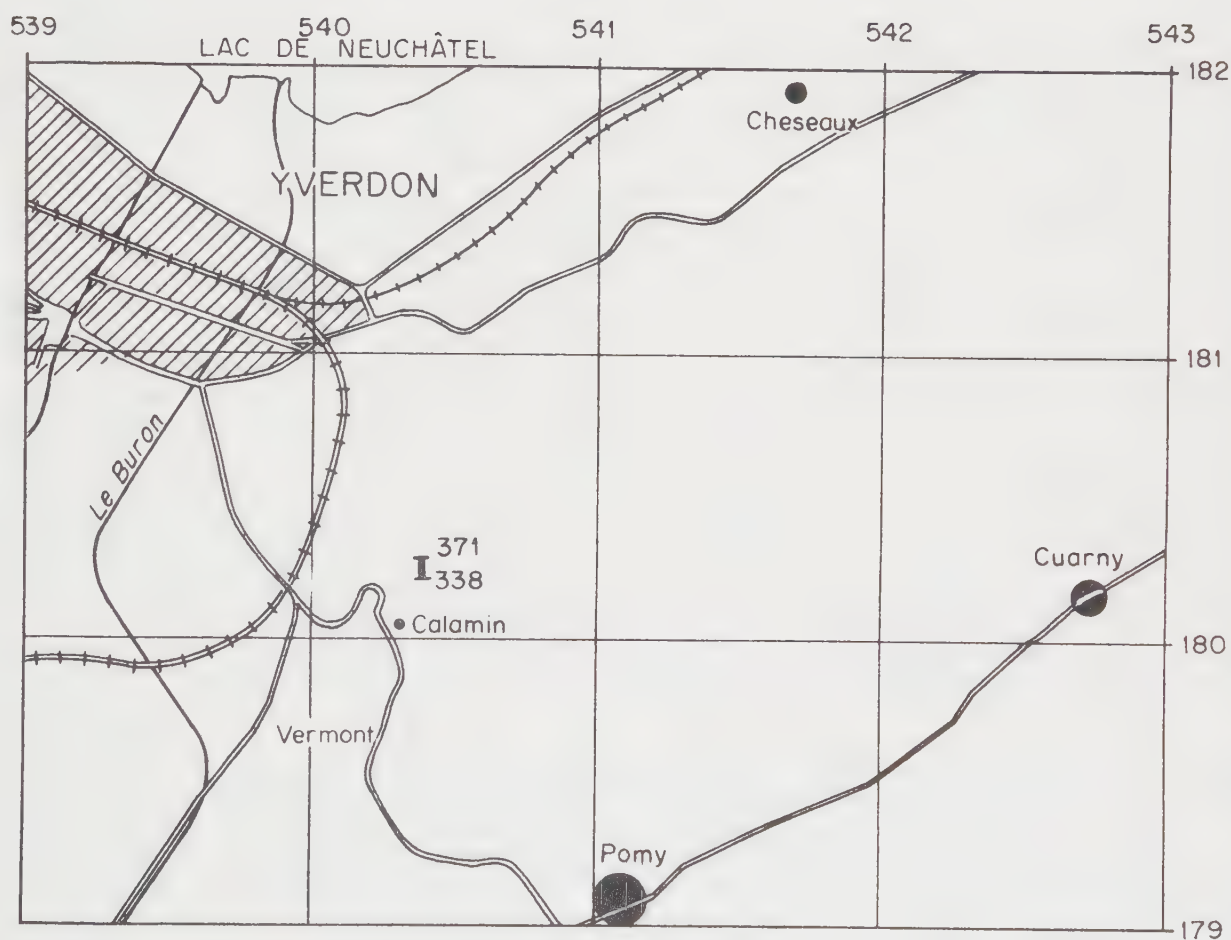


Figure 16

par les bancs 1141 à 1143, Il faut cependant bien souligner que c'est uniquement sur la base d'une position relative identique par rapport aux "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" que cet ensemble de grès à base ravinante est étudiée ici, Il ne s'agit probablement pas de termes synchrones du "*Grès de Mathod*" de la région-type.

Dans la coupe levée aux "Côtes de Calamin", à la sortie SE d'Yverdon, on observe, sous le premier banc calcaire (banc 341), le sommet d'une série de puissants bancs de grès que l'on peut identifier au "*Grès de Mathod*" (Planche 10).

Enfin, la coupe levée à Essert-Pittet, au SSE de Mathod, de l'autre côté de la plaine de l'Orbe, montre, à la base, une série de bancs de grès groupés que JORDI (1955) a considérés comme équivalents du "*Grès de Mathod*" (Pl. 14, bancs 416 à 419).

6.3.8.2 Lithologie et pétrographie

Dans cette série, les lithofaciès sont très peu diversifiés et se rapportent à deux groupes principaux : les grès et les marnes. Il existe naturellement tous les termes de passage d'un groupe à l'autre.

6.3.8.2.1 Les grès

Dans cette catégorie, on rencontre principalement le Grès à ciment marneux (lithofaciès 4), quelquefois le Grès à ciment argileux (lithofaciès 2), plus exceptionnellement le Grès à ciment calcaire (lithofaciès 10). Les bancs sont en général épais et certains présentent une base ravinant les séries sous-jacentes.

Du point de vue pétrographique, on note une très forte proportion des feldspaths qui peuvent, dans certains cas, représenter plus de 40% des minéraux détritiques. Le quartz, toujours abondant, ne semble pas représenter moins du quart des détritiques. Parmi les minéraux phylliteux, la biotite est très fréquente mais souvent altérée. On note tous les termes de passage entre la biotite et la chlorite. Cette dernière est aussi assez fréquente. On remarque, de ci de là, des grains de glauconie remaniée. A la Morges, enfin (pl. 7, banc 1142-1144), on note une assez forte fréquence de grains de serpentinite. Cette dernière caractéristique résulte probablement de ce que les diverses coupes étudiées dans ce chapitre ne sont pas synchrones et n'ont en fait en commun qu'une position stratigraphique relative identique, au sommet des "*Marnes bariolées s.str.*" et sous la série des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*". Dans la Morges, les sédiments synchrones du "*Grès de Mathod*" de la région-type sont peut-être représentés par les grès et marnes situés au mur de la série calcaire ou même par la base de cette dernière (planche 15). Le ciment des grès est constitué soit de calcite spatique dans les termes les plus calcaires, soit de micrite plus ou moins argileuse et, plus rarement, d'argile peu calcaire.

Il reste à mentionner, dans ce groupe de lithofaciès, un type de sédiments particuliers. Ce sont des grès conglomératiques qui rappellent un peu ce que l'on peut observer dans les "*Grès de Loveresse*". La matrice gréseuse contient des galets de calcaires d'origine molassique. Ce sont soit des calcaires gréseux, cas le plus fréquent, soit des calcaires micritiques. Certains de ces galets présentent des fentes de dessiccation, d'autres sont déformés, preuve qu'ils étaient encore plastiques et imbibés d'eau lors de leur transport et de leur sédimentation. La présence de ces galets calcaires d'origine molassique peut très facilement s'expliquer si l'on considère la planche 10. On s'aperçoit que dans la série gréseuse s'étendant du banc 338 au 347 s'intercale un mince banc calcaire (341) qui, dans les cas les plus favorables, a moins de 10 cm d'épaisseur. Il aurait suffi, lors de la sédimentation, qu'un courant érosif pénètre dans l'étendue d'eau calme où se sédimentait ce calcaire, c'est à dire, qu'à la place de la marne gréseuse sus-jacente (342) se dépose un grès grossier ravinant les sédiments antérieurs, pour que ce lit de calcaire fraîchement déposé soit emporté sous forme de petits fragments.

6.3.8.2.2 Les marnes

Les marnes se présentent soit comme des intercalations relativement minces entre les niveaux gréseux ou, au contraire, en bancs plus épais au sommet de la série. Rien ne permet de les différencier des marnes de la série antérieure.

Entre les bancs de grès et juste au sommet de la série, c'est généralement le lithofaciès 6 que l'on rencontre. Au-dessus vient le lithofaciès 8, parfois suivi du 7, ou directement le 7 au lieu du 8.

L'ensemble de cette série offre ainsi, par places, l'apparence d'un cyclothème dont le plus complet peut être observé à Essert-Pittet (bancs 416 à 424 de la planche 14). On note de haut en bas :

- | | | | |
|-------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| 1. Lithofaciès 12 | Calcaire | 4. Lithofaciès 6 | Argile calcaréo-gréseuse |
| 2. Lithofaciès 11 | Calcaire marneux | 5. Lithofaciès 4 | Grès à ciment marneux |
| 3. Lithofaciès 8 | Marne argileuse | 6. Lithofaciès 2 | Grès à ciment argileux |

En général cependant, cette série n'est pas constituée d'un seul cyclothème complet, mais de deux ou trois cycles réduits, rabougris ou même tronqués selon la terminologie de BERSIER (1958, p. 880).

6.3.8.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Bien qu'à dominance gréseuse, cette série a livré, dans les environs de Mathod, une faune relativement abondante. Parmi les différentes trouvailles que nous avons faites, le groupe le plus important pour la stratigraphie est celui des mammifères. JORDI (1955, p. 37) avait déjà découvert deux gisements de mammifères au sommet de la série, l'un aux Copettes près de Champvent (coordonnées 534000/181530), l'autre à Essert-Pittet (coordonnées 535220/176100). Ces deux gisements lui avaient livré la faune suivante :

Rhinoceros sp.
Caenotherium sp.
Amphitragulus sp.
Pseudotheridomys sp.
Archaeomys sp.
Issiodoromys sp.
Eucricetodon praecursor (SCHAUB)

D'autre part, à Valeyres-sous-Rances, nous avons fouillé un gisement situé à la base du "Grès de Mathod" (banc 468, pl. 12). Les conditions de gisement ainsi qu'une description détaillée de la faune ayant déjà été publiées ailleurs (HUGUENEY et KISSLING, 1972, pp. 60-63), je ne ferai ici que rappeler la liste des espèces rencontrées.

<i>Ungulata</i> indet.	<i>Plesiosmintus</i> sp.
<i>Caenotherium</i> sp. div.	<i>Adelomyarion vireti</i> HUGUENEY
<i>Chiroptera</i> indet.	<i>Eucricetodon</i> cf. <i>praecursor</i> (SCHAUB)
<i>Dimylidae</i> cf. <i>Dimylus</i>	<i>Peridyromys murinus</i> (POMEL)
<i>Archaeomys laurillardii</i> GERVAIS	<i>Gliravus bruijni</i> HUGUENEY
<i>Issiodoromys pseudanaema</i> GERVAIS	<i>Pseudotheridomys</i> cf. <i>pusillus</i> FAHLBUSCH
<i>Steneofiber eseri antiquus</i> LAVOCAT	<i>Eomys zitteli</i> SCHLOSSER
<i>Paleosciurus</i> sp.	<i>Eomys major</i> FREUDENBERG

Du point de vue stratigraphique, la présence de deux Thérideromyidés: *Archaeomys laurillardii* et *Issiodoromys pseudanaema* indique que ces gisements se placent à la fin de l'Oligocène, dans la zone de Coderet. Le degré d'évolution des dents de Cricétidés (*Eucricetodon praecursor*), la faible taille des dents des Gliridés du genre *Gliravus* et, parmi les Eomyidés, la présence d'*Eomys zitteli* et l'abondance d'*Eomys major* indiquent un niveau plus ancien que le gisement type de Coderet. En conclusion, ces gisements sont encore à placer dans la sous-zone de Rickenbach.

Les autres restes de vertébrés rencontrés sont des dents de crocodile et des dents pharyngiennes de poissons du genre *Leuciscus* d'une taille nettement supérieure à celle des espèces rencontrées jusqu'ici.

Les espèces d'ostracodes sont nettement plus diversifiées que celles des séries antérieures. Dans la région-type, on rencontre :

Pseudocandona sp.
Ilyocypris böhli TRIEBEL
Moenocypris sp. div.

Toutes ces espèces indiquent un milieu de sédimentation limnique. En un seul point (Côtes de Calamin, banc 339, pl. 10), j'ai trouvé en outre :

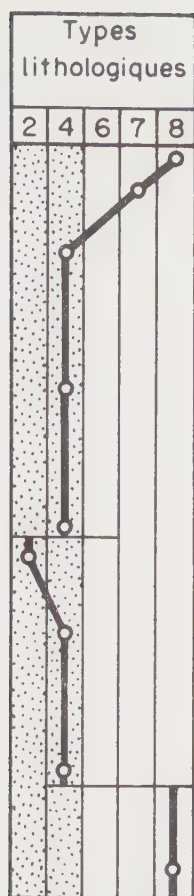
Neocyprideis sp.
Hemicyprideis dacica dacica (HEJJAS)
Hemicyprideis genavensis (OERTLI)
Metacypris danubialis danubialis STRAUB

Les deux espèces d'*Hemicyprideis* indiquent un milieu mixo-mesohalin. Ce sont les premiers témoins des influences saumâtres qui vont devenir si fréquentes dans la série des "Grès et marnes gris à gypse".

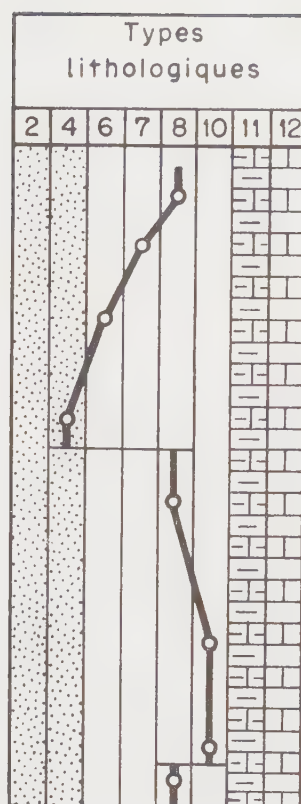
Les mollusques rencontrés sont :

Unionidés indet.
Helicidés indet.
Wenzia ramondi (BRONGNIART)
Stagnicola sp.

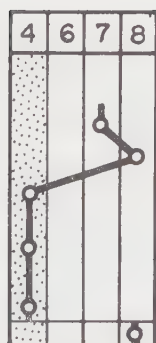
Dans la coupe des "Côtes de Calamin" cependant (bancs 344 et 345, pl. 10), j'ai en outre récolté quelques débris de



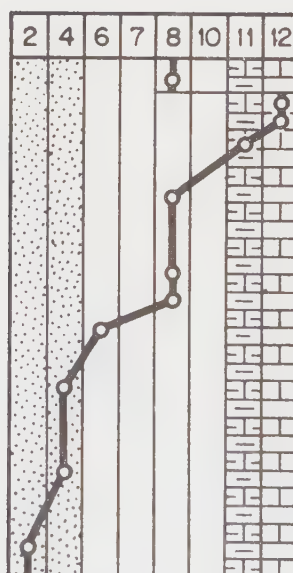
Valeyres s/ Rances
463, 471 - 475



Valeyres s/ Rances
462 - 469



La Morges
1141 - 1145



Essert - Pittet
416 - 424

Figure 17 : Courbes lithologiques dans la série
du "Grès de Mathod"

Tympanotonos sp., ce qui indique un milieu mesohalin (salinité comprise entre 5 et 18%). Ceci confirme les données paléocéologiques fournies par les ostracodes contenus dans le banc 339.

La flore de charophytes, enfin, est très pauvre puisque les seules espèces rencontrées sont :

Sphaerochara hirmeri (RASKY)
et *Tectochara meriani* (HEER)

Ces espèces ne donnent aucune indication stratigraphique précise.

En conclusion, on constate que dans cette série, seuls les mammifères nous fournissent des indications stratigraphiques permettant de placer le "Grès de Mathod" dans la zone de Coderet, très probablement dans la partie moyenne à supérieure de la sous-zone de Rickenbach.

6.3.8.4 Ecologie et sédimentation

Du point de vue sédimentologique, cette série est composée d'un ou de plusieurs cyclothèmes. C'est la première fois que des séquences lithologiques régulières peuvent être observées d'une façon relativement généralisée. En effet, dans les séries antérieures ce phénomène était exceptionnel. J'ai déjà donné plus haut, mais d'une manière très succincte, la suite des termes lithologiques observée en un point (Essert-Pittet). La figure 17 présente l'allure des courbes lithologiques ainsi que l'importance relative des différentes lithologies des séquences rencontrées dans le "Grès de Mathod". Ce qui frappe tout d'abord, et que j'ai déjà signalé, c'est l'importance des variations latérales. Ainsi, les deux coupes de Valeyres-sous-Rances données ici sont distantes de moins de 20 mètres. Leur seul point commun est la succession d'une séquence tronquée à tendance négative suivie d'une séquence positive. Dans la coupe de gauche, les lithologies gréseuses sont fortement prédominantes tandis que dans celle de droite, elles ne représentent qu'une exception au sein d'une série argilo-marno-calcaire faiblement gréseuse. Les deux autres coupes figurées sur la figure 17 présentent deux types extrêmes rencontrés dans la série du "Grès de Mathod". Ce sont toutes deux des séquences positives dont la première, levée dans la Morges, est réduite à trois termes lithologiques et dont la seconde, observée à Essert-Pittet, offre au contraire, une séquence beaucoup plus complète et à termes lithologiques variés.

La figure 18 montre l'évolution des lithologies dans la coupe d'Essert-Pittet, reportées dans le diagramme triangulaire.

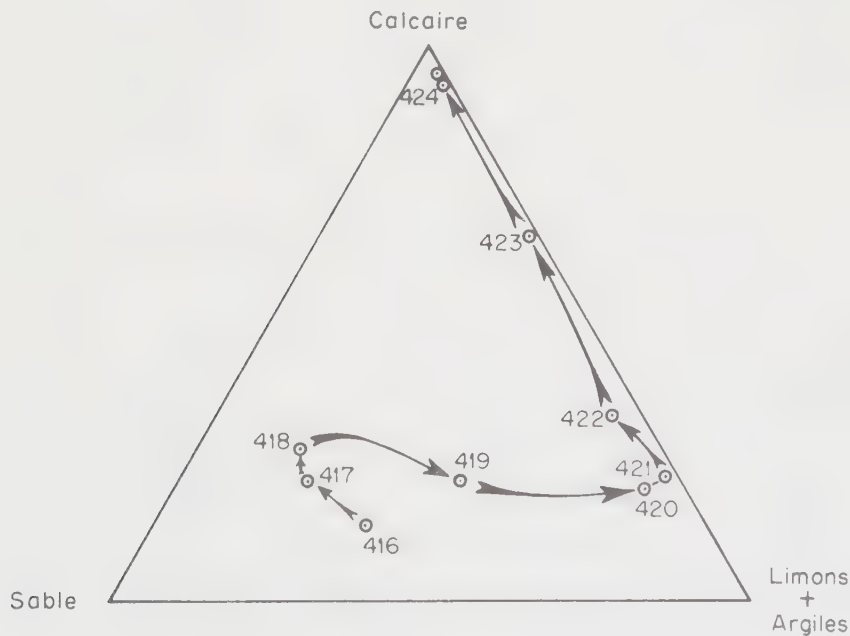


Figure 18 : Evolution et succession des lithologies dans le "Grès de Mathod", coupe levée à Essert-Pittet.

Du point de vue génétique, cette série est constituée par les témoins laissés par les divagations des fleuves apins. Ces sédiments se sont déposés suivant le même processus que celui qui a présidé au dépôt des cyclothèmes que BERSIER (1958) a si précisément décrits dans la molasse aquitanienne des environs de Lausanne.

Du point de vue écologique, ces dépôts se sont en général effectués en milieu limnique, sous très faible tranche d'eau. En un point cependant, aux Côtes de Calamin, les indications concordantes fournies par les ostracodes et les gastéropodes ainsi que la présence de gypse attestent que la salinité du milieu de sédimentation pouvait aller jusqu'au mesohalin. Ce sont les prémices des influences saumâtres qui deviendront si fréquentes dans la série des "*Grès et marnes gris à gypse*".

Les terres émergées de la basse plaine étaient peuplées d'une faune très diversifiée. On y rencontrait principalement de nombreuses variétés de mammifères dont les tailles allaient de celle du rat à celle du rhinocéros. Des crocodiles hantaient aussi bien les marigots situés entre les bras des fleuves que ces derniers.

En dehors des charophytes, témoins du règne végétal sous-lacustre, je ne suis pas à même d'apporter des précisions sur la flore continentale, toutes mes investigations palynologiques étant restées vaines.

6.4 "*Calcaires d'eau douce et dolomie*"

6.4.1 Généralités

La présence de bancs calcaires au sein de formations à dominance gréseuse et marneuse avait, depuis fort longtemps, éveillé l'attention des chercheurs. En 1789, De RAZOUMOWSKY (t. II, pp 43-45), dans un paragraphe consacré aux "Couches de pierre remarquable au milieu de ce sol gréseux" mentionne déjà : "A 1/2 lieue et jusqu'à 2 lieues d'Echallens les environs des villages de Goumoëns (-la-Ville), le Crau, Essertines, Non-foux, sont dignes d'attention par les carrières de pierre à chaux ou plutôt de pierre marneuse calcaire". STUDER (1825, p. 285) cite la présence de "calcaire puant" à Goumoëns, mais il ne fait que reprendre la description donnée par son prédécesseur. NECKER (1841, p. 380) décrit au Nant d'Avanchet près de Genève la superposition de la molasse d'eau douce sur la molasse rouge. Dans cette coupe, la limite entre les deux formations est représentée par un mince banc calcaire. Cet auteur écrit : "Ici finit le terrain de mollasse rouge et commence celui de la mollasse d'eau douce."

Ce dernier terrain s'annonce d'abord par la présence d'une mince couche (de 0 m. 33 seulement de puissance) d'un calcaire marneux, gris, fétide, ou exhalant lorsqu'on le brise une forte odeur bitumineuse." Cependant, NECKER ne considère pas ces quelques bancs calcaires comme un horizon ayant une valeur stratigraphique. Il s'agit simplement d'un type lithologique particulier et très subordonné dans la série de la molasse d'eau douce. Cet auteur réserve aussi (p. 451) un chapitre au calcaire d'eau douce d'Oulens. Ses conclusions, de même que celles présentées par De RAZOUMOWSKY, sont presque exclusivement basées sur des observations faites dans de petites carrières où l'on exploitait le calcaire pour alimenter des fours à chaux.

C'est CHAVANNES (1854, p. 22) qui, le premier, indique clairement la position stratigraphique relative de cette série calcaire : "La *molasse rouge* est recouverte par le système à *lignite* et à *calcaire bitumineux*, riche en fossiles que l'on commence à étudier..... Au-dessus vient la *molasse grise* ordinaire, importante par sa puissance et par les fossiles qu'elle a fournis...."

Dans sa description géologique du Jura vaudois et neuchâtelais, JACCARD (1869, pp. 46-48) ne fait que donner un aperçu de la répartition géographique des affleurements. Il faut attendre le travail de CUSTER (1928) pour avoir des observations un peu plus détaillées sur cet horizon. Les données sont hélas dispersées puisque cet auteur a choisi de présenter une analyse par régions plutôt que par ordre stratigraphique. Dès lors, cette série à dominance calcaire deviendra un des termes de la colonne stratigraphique. C'est dans ce sens qu'il est employé par ALTHAUS (1947, p.4) dans sa synthèse sur la molasse dans l'optique de la recherche pétrolière.

Les travaux ultérieurs n'apporteront rien de bien nouveau et ce n'est qu'en 1955 que JORDI (pp. 42-43), à la suite d'analyses chimiques, peut démontrer la présence, au toit de la série, de bancs de calcaires fortement dolomitiques, voire même de vraies dolomies. La formation prend alors le nom de série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*", terme utilisé aujourd'hui.

Contrairement à ce que nous avons observé avec des séries antérieures, la répartition géographique des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*" est relativement étendue et cette série affleure en de nombreux points. Il m'a été ainsi possible de choisir et de ne lever que les coupes les plus complètes ou les plus significatives. Celles-ci sont les suivantes, approximativement, du NE au SW :

PLAN DE SITUATION

Coupe : Essert - Pittet

Planche n°: 13

"Formation" : *Calcaires d'eau douce et dolomie*

N° Echantillons : 416 - 433

Feuille n° 1203 - YVERDON

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25 000

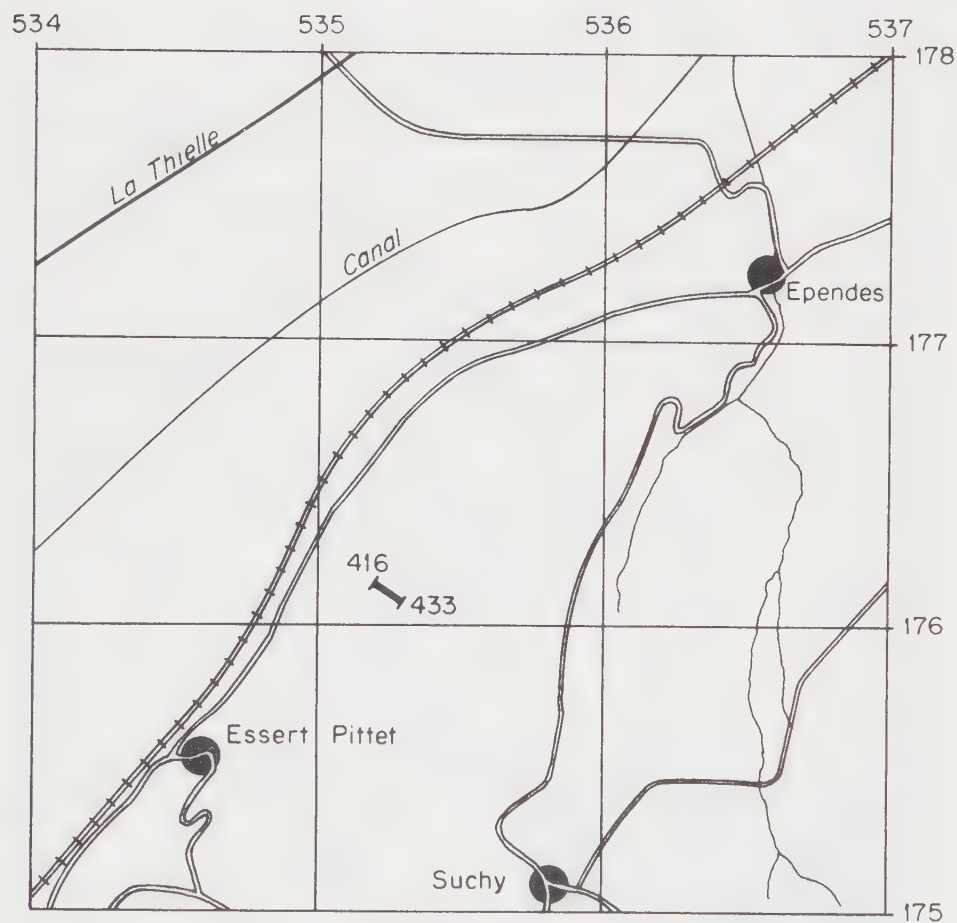


Figure 19

PLAN DE SITUATION

Coupe : La Morges

Planche n°: 15

"Formation" : *Calcaires d'eau douce et dolomie*

N° Echantillons : 1054 - 1129

Feuille n° 1242 - MORGES

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

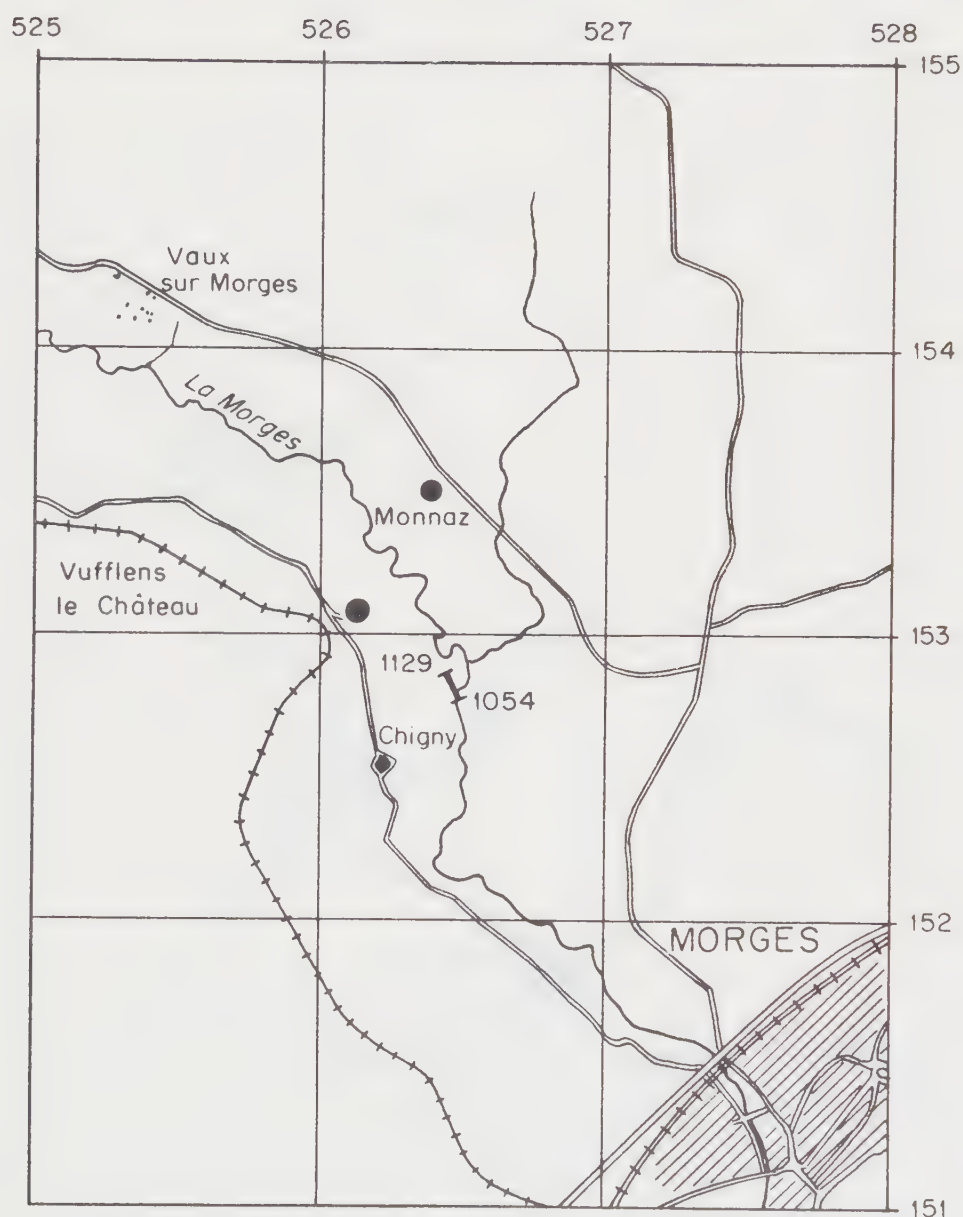


Figure 20

PLAN DE SITUATION

Coupe : Boudry (Trois Rods) Planche n°: 16

"Formation" : *Calcaires d'eau douce et dolomie*

N° Echantillons : 183 - 188 + 201 - 202

Feuille n° 1164 - NEUCHÂTEL de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

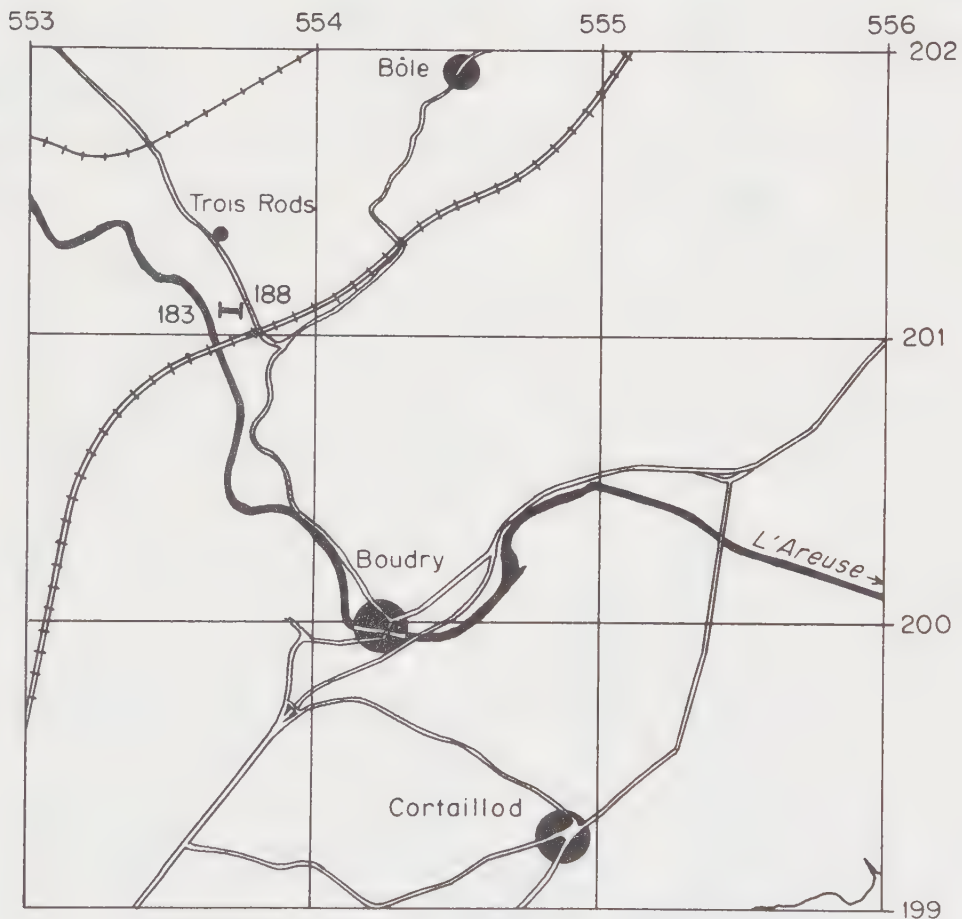


Figure 21

PLAN DE SITUATION

Coupe : Essertines Planches n°: 14, 17, 18
"Formation" : *Calcaires d'eau douce et dolomie*
N° Echantillons : 511 - 541, 588 - 615 et 542 - 587
Feuille n° 1203 - YVERDON de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25 000

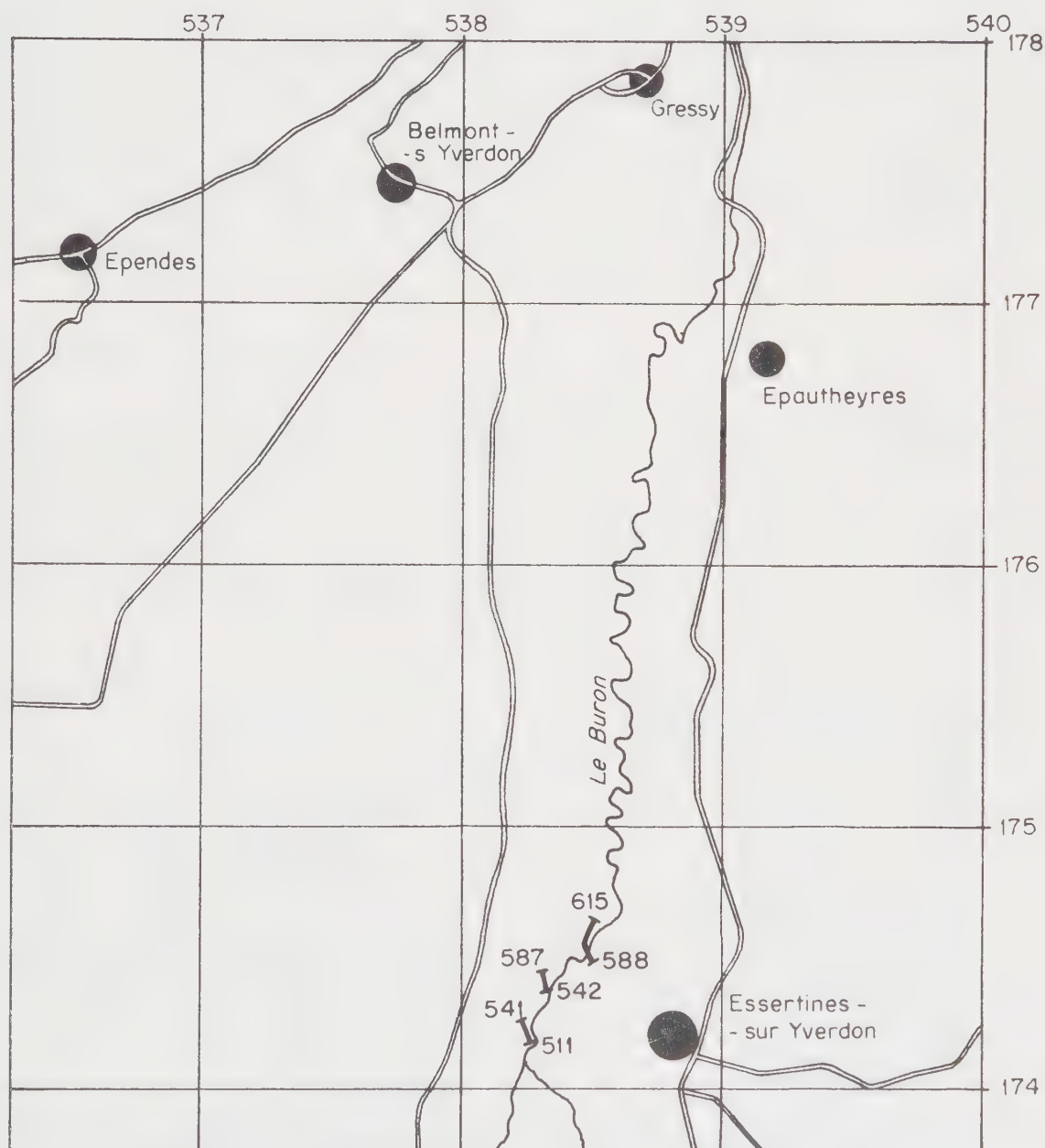


Figure 22

		Plan de situation figure :
BOUDRY	Planche 16, niveaux 201-202 et 183-188	21
CÔTES DE CALAMIN	Planche 10, niveaux 348-371	16
VALEYRES-SOUS-RANCES	Planche 12, niveaux 434-443	14
ESSERT-PITTET	Planche 13, niveaux 423-433	19
ESSERTINES	Planche 14, niveaux 516-541	22
	Planche 17, niveaux 589-612	22
	Planche 18, niveaux 542-572	22
LA MORGES	Planche 15, niveaux 1080-1129	20

Comme on le constate mal à Valeyres-sous-Rances, mieux aux Côtes de Calamin et mieux encore à Essertines, cette série n'est pas constituée par un ensemble de bancs calcaires qui, interrompant brusquement la sédimentation grés-marneuse, se présenterait comme un horizon aux limites tranchées. On voit au contraire, au-dessus du "*Grès de Mathod*", s'il existe, apparaître d'une manière timide quelques bancs calcaires, souvent isolés. Ce sont les signes avant-coureurs du ralentissement de la sédimentation à caractère détritique dominant. Au sommet de la série, de même, des récurrences calcaires s'intercalent dans les sédiments terrigènes qui deviennent de plus en plus prépondérants. Dans ces conditions, le tracé de limites inférieure et supérieure à cette série est donc purement subjectif. Dans ce travail, lorsque j'ai dû effectuer des comparaisons chiffrées entre les diverses coupes, je n'ai considéré que la partie centrale où les bancs de calcaire sont les plus nombreux et concentrés sur une portion très resserrée de la coupe. Dans tous les autres cas, les observations portent sur l'ensemble de la série et couvrent les intervalles indiqués ci-dessus dans la liste des coupes.

6.4.2 Lithologie et pétrographie

Même si l'on considère, non pas la portion de la série où les calcaires sont les plus nombreux et les plus serrés, mais l'ensemble de la formation, on s'aperçoit que, hormis les Calcaires marneux (lithofaciès 11) et les Calcaires (lithofaciès 12), les lithologies sont peu variées et d'importance généralement très subordonnée.

Un seul terme fait exception ce sont les Marnes argileuses (lithofaciès 8) dont les fréquences relatives varient entre 20 et 25%.

Les autres termes rencontrés, ainsi que leurs fréquences maximales sont les suivants :

LITHOFACIES		FREQUENCE MAXIMALE
4	GRES A CIMENT MARNEUX	5,5 %
5	ARGILE GRESEUSE	3,5 %
6	ARGILE CALCAREO-GRESEUSE	8,5 %
7	ARGILE	3,5 %
10	CALCAIRE ARGILO-GRESEUX	3,5 %

TABEAU 5

Ces différents lithofaciès sont trop subordonnés pour justifier une description pétrographique détaillée et cela d'autant plus qu'il n'est pas possible de les différencier de leurs homologues de la série des "*Grès et marnes gris à gypse*" ou, vers la base, de ceux des "*Marnes bariolées s.str.*"

Je ne traiterai donc ici que les sédiments fortement carbonatés représentés par les lithofaciès 11 et 12.

a) Calcaires marneux (lithofaciès 11)

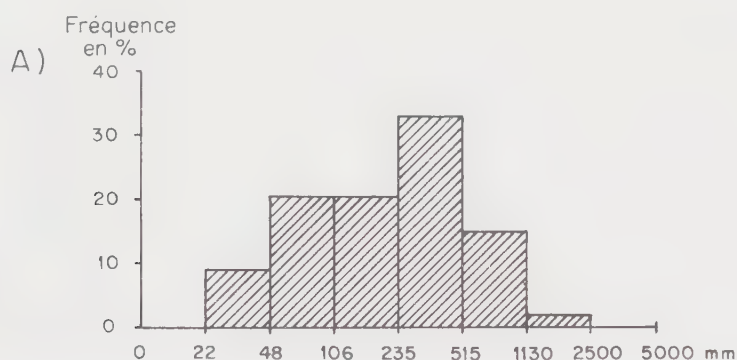
Ces sédiments sont très communs dans la partie S du bassin, où leur fréquence peut atteindre 55%. Leur importance diminue vers le Nord au profit de celle des calcaires. A Valeyres-sous-Rance, par exemple, leur fréquence est tombée à 11%. Comme les calcaires, les calcaires marneux se présentent en bancs relativement minces. On peut voir sur la planche 30 leur répartition par classes d'épaisseur dans les différentes coupes. Si maintenant on considère l'ensemble des coupes, on obtient la répartition donnée sur la figure 23A.

Les épaisseurs les plus fréquentes sont comprises entre 11 et 50 centimètres. Ce résultat est en fait une première approximation conditionnée par les limites des classes utilisées pour les histogrammes. Nous verrons au chapitre 7.1 ce qui a guidé notre choix dans l'établissement de telles subdivisions. Si l'on ne tient pas compte des classes, on remarque que les épaisseurs les plus communes sont comprises entre 20 et 40 centimètres et qu'elles représentent le 35% des fréquences.

Les couleurs les plus communément rencontrées sont les gris clairs plus ou moins verdâtres et, dans une certaine mesure, le beige clair et le brun (Terre de Sienne).

Seuls les termes les plus calcaires conviennent à la confection de lames minces et peuvent ainsi être observés au microscope. D'ordinaire, cet examen n'apporte que fort peu de renseignements. Ces calcaires marneux sont en effet constitués d'une pâte micritique plus ou moins argileuse et homogène, ne présentant généralement aucune structure. De rares débris organiques, constitués de fragments de coquilles de mollusques, de carapaces d'ostracodes ou de débris d'os de poissons sont parfois présents. De même que dans certains calcaires marneux de la série des "*Grès et marnes gris à gypse*", on note, mais ici d'une manière exceptionnelle, la présence de cristaux de gypse, parfois groupés en agrégats (banc 520, planche 10 et pl. VI, fig. 3 et 4).

Lithofaciès 11



Lithofaciès 12

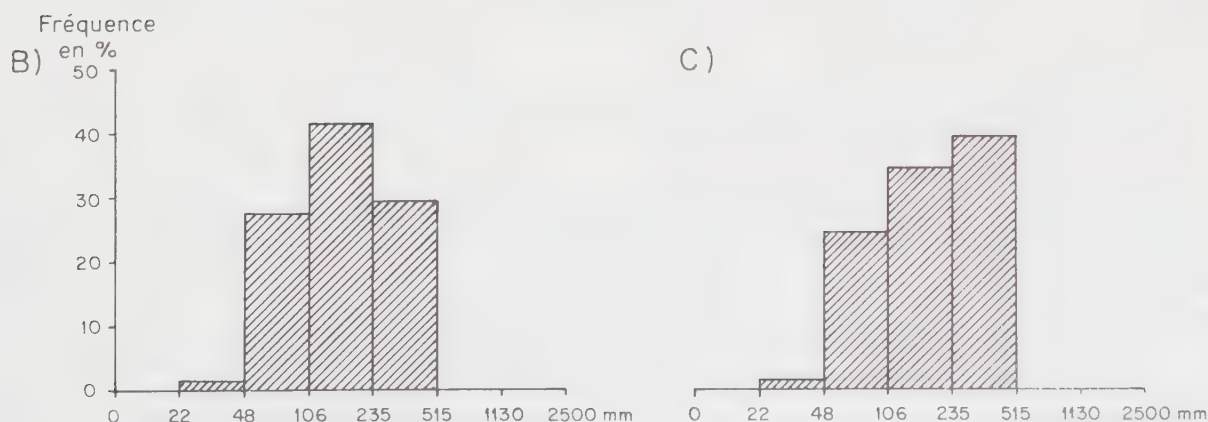


Figure 23 : Histogrammes des épaisseurs des bancs des lithofaciès 11 et 12 dans la série des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*"

b) Calcaires (lithofaciès 12)

Ces sédiments, d'importance très limitée si l'on ne considère que leur fréquence ou leur épaisseur totale par rapport à l'ensemble des sédiments molassiques, sont très intéressants par la diversité de leurs structures ainsi que par leurs implications paléosédimentologiques.

Les calcaires se présentent en bancs relativement minces, sauf au pied du Jura où ils sont nettement plus épais et se concentrent sur une fraction plus resserrée de la coupe. En comparant les histogrammes B et C de la figure 23, on distingue nettement l'influence des coupes proches du Jura sur la répartition des épaisseurs.

Pour construire l'histogramme figuré en B, je n'ai pris en considération que les coupes de la Morges, Essertines, Essert-Pittet et des Côtes de Calamin. La répartition des épaisseurs donne une image symétrique, la plus forte fréquence se situant dans la classe comprise entre 11 et 23 cm.

En C, j'ai repris les coupes précédentes en leur adjoignant celle de Valeyres-sous-Rances. La courbe de répartition des fréquences est alors complètement déportée vers la droite, le maximum des fréquences étant maintenant compris entre 23 et 50 cm.

La couleur la plus commune est le brun rosé (7), plus ou moins foncé. On rencontre aussi, en général au pied du Jura, des bancs de couleur crème (3).

Contrairement à ce que nous avons noté pour les calcaires marneux, les observations en lames minces sont fort instructives car les calcaires présentent le plus souvent des structures très variées. Un problème important s'est toutefois posé pour la nomenclature de ces sédiments. En effet, la classification classique de FOLK (1962) ainsi que celle de LEIGHTON & PENDEXTER (1962) sont toutes deux basées sur des observations faites sur des sédiments qui, s'ils ne sont pas tous récifaux, sont tout au moins marins. L'application d'une telle classification à des sédiments lacustres est impossible, voire impensable. A la rigueur, il aurait été possible d'utiliser la classification de DUNHAM (1962). Cependant, les cinq groupes proposés par cet auteur n'auraient pas pu rendre compte de la diversité des structures observées.

Il a donc fallu choisir un moyen simple de classer ces différents types de calcaires. Pour ce faire, j'ai d'emblée voulu écarter toute notion génétique et baser ma classification sur des critères purement descriptifs. A cet effet, je considère uniquement l'arrangement, la nature et la forme d'éléments figurés contenus dans une matrice. Les critères utilisés ainsi que la nature des éléments considérés dans cette classification sont consignés sur la figure 24. Contrairement au principe des autres classifications, l'abondance relative des divers éléments figurés n'est pas un critère fondamental. Il est cependant bien entendu que, suivant la taille des éléments, leur pourcentage doit au moins représenter 5 à 10% de la roche pour qu'il en soit tenu compte. On pourrait reprocher à cette classification son aspect assez rébarbatif qui ne conduit pas à donner un nom à chaque calcaire, mais qui l'assimile à un type. Mais, à cet inconvénient, fait toutefois pendant une grande souplesse d'utilisation. Ainsi, si l'on obtient huit types de base, tous les intermédiaires sont possibles et leur notation est fort simple. En effet, si l'on a par exemple, un calcaire ayant des caractères mixtes entre les types 2 et 3, il suffit de noter : calcaire 2/3. Cette notation qui conduit à la détermination d'un type est donc basée sur la forme et l'arrangement des éléments figurés. Pour que la description soit complète, il faut naturellement adjoindre, à la détermination du type, des indications sur la nature de la matrice ainsi que sur les éléments figurés. A cette fin, j'ai quelquefois utilisé des termes définis antérieurement par des auteurs de langue anglaise. Plutôt que de traduire ces termes, comme le font souvent les Français, j'ai préféré les garder sous leur dénomination originale qui a le mérite d'être beaucoup plus largement connue. J'ai peut-être quelquefois légèrement étendu le champ d'utilisation de certains d'entre eux, aussi vais-je rappeler ici leurs définitions.

Intraclaste : Fragment de sédiment carbonaté pénécontemporain du dépôt, redéposé après avoir été érodé à l'intérieur du bassin de sédimentation dans un état généralement peu consolidé.

Lithoclaste : Fragment clastique, généralement calcaire, provenant de l'érosion de roches pré-existantes consolidées situées dans ou hors du bassin de sédimentation.
ou
Exoclaste

Micrite : Boue calcaire, consolidée ou non, d'origine soit chimique soit détritique, formée de particules de taille inférieure à 4 microns.

Pellet : Grain, dépourvu de structure interne significative, composé de matériel micritique contenant souvent un fort pourcentage de matière organique, de forme généralement ovoïde.

Sparite : Calcite spathique, en cristaux de taille supérieure à 10 microns, représentant généralement un remplissage des pores de la roche par précipitation sur place. Dans certaines

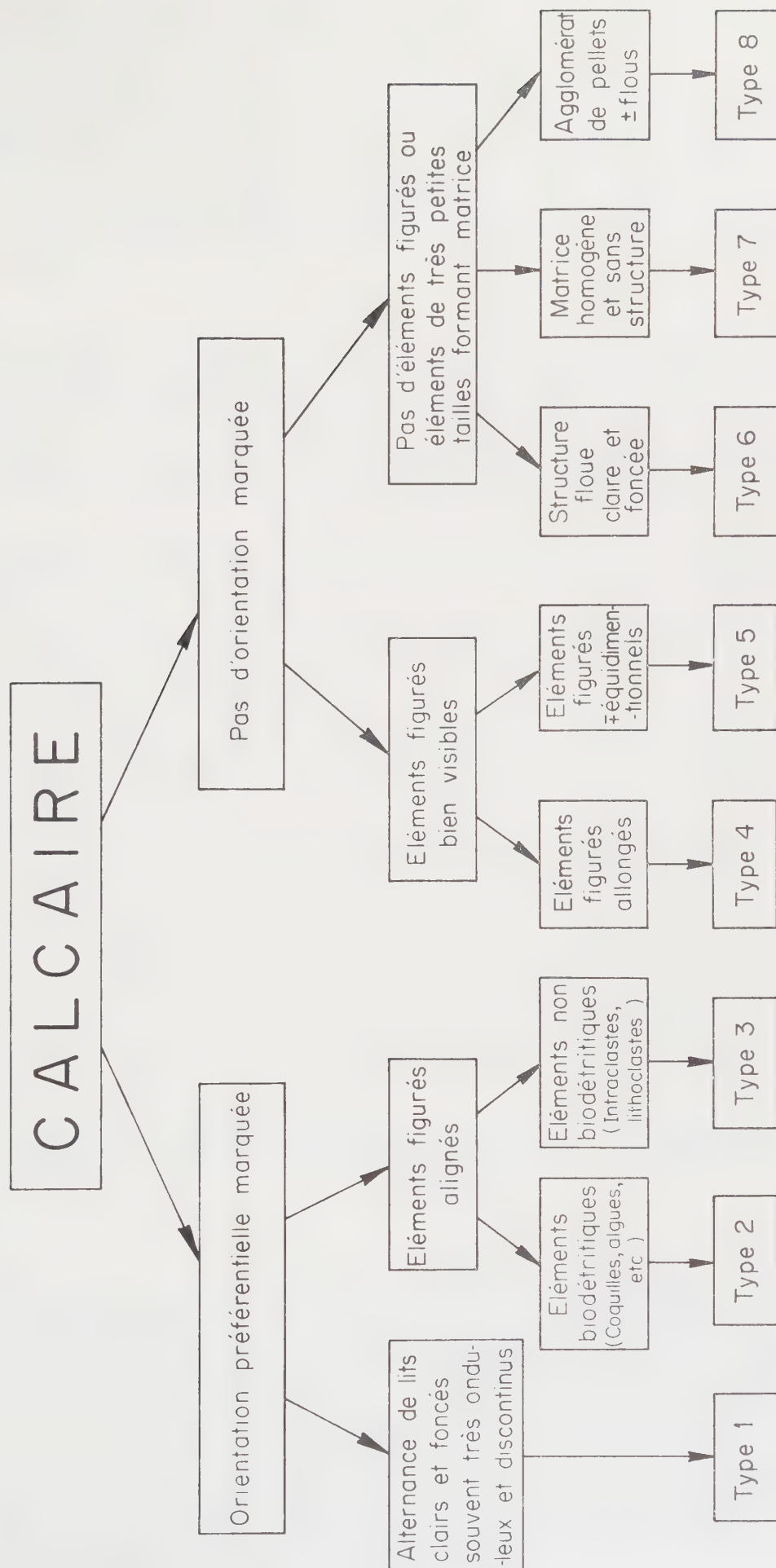


Figure 24

roches cependant, la sparite ne résulte pas d'une précipitation originelle mais d'une recristallisation secondaire.

Examinons, maintenant, à l'aide du microscope, les divers types de base de ma classification (fig. 24) dont certains exemples seront pris en dehors de la série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*".

Il devrait être inutile, me semble-t-il, de rappeler que les observations doivent être faites dans un plan perpendiculaire à la stratification et, si possible, suivant deux directions orthogonales.

Type 1

Ce type, qui montre une alternance de lits clairs et foncés, a parfois été appelé "Calcaire concrétionné". Je ne ferai ici que le décrire succinctement, réservant d'étudier plus loin les problèmes sédimentologiques et paléocéologiques que pose ce type de calcaire.

L'alternance de lits clairs et foncés semble, à première vue, parallèle à la stratification. Un examen plus attentif cependant permet de constater que ces lits moulent les irrégularités du substratum et qu'ils sont discontinus, se relayant les uns les autres (Planche I, fig 1 et 2, pl. V, fig. 2).

Les lits clairs, d'une épaisseur très variable comprise entre 50 et 600 microns, sont constitués de calcite spathique en cristaux de 20 à 50 microns de diamètre, ils peuvent contenir des grains détritiques de petites dimensions.

Les lits foncés, d'épaisseur beaucoup plus constante comprise entre 10 et 40 microns, sont constitués de calcite micritique à microspathique en cristaux de taille inférieure à 10 microns associés à de la matière organique (sapropèle).

Dans de nombreux calcaires de ce type, on note la présence d'organismes cylindriques. Les sections transversales de ces organismes, d'un diamètre extérieur compris entre 20 et 30 microns et d'un diamètre interne voisin de 15 microns montrent une paroi micritique présentant, sur la bordure interne une couche de quelques microns d'un matériel plus sombre.

COLOM (1961, p. 21) a assimilé des organismes identiques à des diatomées voisines des genres actuels *Melosira*, *Cyclotella* etc.; qui s'associent pour former des chaînes. Les frustules originelles, constituées de silice amorphe, auraient été dissoutes et remplacées par de la micrite. COLOM (1967, p. 841) attribue aux *Melosira*, rencontrées en très grand nombre dans les couches claires du Burdigalien de Majorque, un rôle saisonnier d'agent de précipitation du carbonate de calcium. Dans notre cas, ces soi-disant diatomées sont réparties d'une façon tout à fait aléatoire et se rencontrent aussi bien dans les niveaux sombres que dans les lits clairs. Leur présence n'est du reste pas limitée aux calcaires concrétionnés (type 1) puisqu'on les trouve dans certains calcaires micritiques homogènes du type 7. D'autre part, elles ne sont pas réparties régulièrement mais, au contraire, souvent concentrées sur de très petites surfaces. Nous verrons, au chapitre réservé à l'écologie, les doutes qui surgissent quant à la nature de ces organismes.

S'il est possible, voire même très probable, que les diatomées aient joué un rôle dans la précipitation du calcaire, il ne faut cependant pas, dans notre cas, leur attribuer un rôle prépondérant dans l'édification des laminations observées.

Type 2 et type 3

Du point de vue structural, ces deux types peuvent être groupés puisque seule la nature des éléments figurés change. Cependant, j'ai préféré établir deux classes distinctes suivant que la nature des éléments est d'origine organique ou lithoclastique. La détermination d'un type de calcaire n'étant basée que sur la nature générale des éléments et sur leur arrangement dans la roche, une description complète devra, en outre, contenir des indications sur l'origine des éléments et sur la composition de la matrice.

Dans le type 2, les éléments sont le plus généralement des fragments de tests de mollusques (fig. 1, pl. II), des carapaces d'ostracodes ou des tiges ou débris de tiges d'algues (fig. 3 et 4, pl. II).

Dans le type 3, les éléments les plus fréquents sont des fragments de sédiments : intraclastes ou lithoclastes, suivant leurs origines.

Type 4

Dans la détermination de ce type, seuls la forme et l'arrangement des éléments figurés entrent en ligne de compte. Leur nature peut être très diverse, aussi bien biodétritique que lithoclastique.

Les éléments généralement rencontrés sont des fragments de tests divers (fig. 5 et 6, pl. II; fig. 1 et 2, pl. III) et, dans une moindre proportion, des intraclastes allongés. Parfois, il ne s'agit pas d'éléments détritiques mais de minéraux autochtones. Le cas le plus fréquent est représenté par des cristaux de gypse isolés (fig. 3 et 4, pl. VI).

Type 5

De même que le type 1, le type 5 offre un intérêt majeur du point de vue sédimentologique. Dans ce cas, ce n'est pas la structure d'ensemble du sédiment qui est caractéristique, mais la nature et la structure des éléments figurés. Ceux-ci sont généralement constitués d'intraclastes s.l. de types divers mais quelquefois de restes organiques comme les oogones de charophytes ou les carapaces d'ostracodes dont les deux valves sont restées jointives.

Seuls les intraclastes s.l., parmi lesquels on distingue divers types, feront l'objet d'une description. On consultera aussi les figures 3, pl. III et 1, pl. VI.

a) Intraclastes s.str.

Les sédiments dont ils sont formés ont été arrachés et transportés, à l'état non complètement consolidé, à l'intérieur du bassin de sédimentation et sur de faibles distances. On peut distinguer deux groupes :

- Intraclastes de composition et de couleur identiques à celles de la matrice.
- Intraclastes de composition identique à celle de la matrice, mais de couleur nettement plus foncée. Peut-être cette variation de coloration provient-elle de ce qu'il s'agit de sédiments déposés dans des zones où régnaient des conditions d'oxydo-réduction particulières.

b) Pseudo-lithoclastes ou intraclastes allochtones

A la place de lithoclastes, je préfère employer le terme de pseudo-lithoclastes ou même celui d'intraclastes allochtones pour désigner des fragments de sédiments molassiques ayant eu une histoire nettement plus complexe que celle des intraclastes s.str. En effet, si les éléments considérés sont bien des fragments de sédiments molassiques quasi pénécotemporains, ils sont cependant tous plus ou moins allochtones et il est parfois possible de déceler les traces de plusieurs étapes dans leur transport. Parmi ces pseudo-lithoclastes on distingue plusieurs types dont les plus importants sont les suivants :

- Intraclastes à fentes de dessiccation. Celles-ci peuvent être soit concentriques, soit rayonnantes. Elles démontrent que le fragment de sédiment encore mou et gorgé d'eau a été abandonné à l'air libre pendant un certain temps avant d'être resédimenté.
- Intraclastes à encroûtements. Ces éléments, de forme généralement arrondie, présentent à leur surface une mince couche de calcaire concrétionné. L'épaisseur de celle-ci est de l'ordre de 0,1 à 0,2 mm, rarement plus. Ils témoignent d'une certaine agitation de l'eau et, pour les plus gros, cette couche calcaire suggère l'existence d'une certaine activité photosynthétique.
- Intraclastes à noyau multiple. Les éléments de ce type, peu fréquents, sont constitués par des fragments de calcaire qui contenait lui-même déjà des intraclastes. Ils témoignent donc d'un double remaniement.

Bien souvent ces pseudo-lithoclastes ne sont pas d'un seul type mais présentent des caractères mixtes. On observe ainsi des éléments à fentes de dessiccation ou à noyau multiple entourés d'une auréole de calcaire concrétionné. Bien que ces pseudo-lithoclastes puissent se rencontrer partout, leur présence est cependant surtout limitée aux régions proches du Jura. On se souvient en outre que des intraclastes complexes ont déjà été rencontrées, relativement fréquemment dans les "*Calcaires d'eau douce inférieurs*". La présence de ces pseudo-lithoclastes est très instruc-

tive puisqu'elle nous permet d'entrevoir un peu la complexité des phénomènes sédimentaires pendant des périodes que l'on pourrait, à première vue, considérer comme très calmes. Sans observations microscopiques, il serait naturellement impossible de se faire une idée aussi précise des conditions de sédimentation.

Type 6

Dans ce type, le premier où n'apparaissent pas de façon plus ou moins marquée des éléments figurés, seule la structure de la matrice entre en ligne de compte. Sa composition, par contre, peut être fort variable : micritique, microdétritique, microbiodétritique, etc.

Au microscope, on observe des sortes de volutes claires, enchevêtrées et à bords flous se détachant sur un fond légèrement plus foncé (fig. 6, pl. III) Cette structure peut être due à des mouvements d'origine hydrodynamique ou à de la bioturbation au sein de la boue calcaire encore incohérente.

Type 7

Ce type ne présente aucune particularité structurale. Il s'agit d'une boue, micritique, microbiodétritique, etc, plus ou moins argileuse, quelquefois légèrement sapropélique. On peut rencontrer ce type dans certains calcaires dolomitiques à pâte dolomicritique.

Type 8

Dans ce type, la roche est constituée par une agglomération de particules, en général plus ou moins ovoïdes, à contours quelquefois assez flous. Pour FOLK (1959, p.7) les grains à apparence de pellets peuvent avoir été formés postérieurement au dépôt par recristallisation et auto-agglutination des particules d'une boue calcaire au départ tout à fait homogène. C'est ce que CAYEUX (1935, pp. 271-272) appelle la structure grumeleuse. Pour cet auteur, si les grumeaux peuvent être d'origine détritique, le cas le plus fréquent est cependant représenté par des particules d'origine secondaire séparées par de la sparite. Nous reprendrons ici l'excellente description qu'il donne des divers stades qui, d'un calcaire micritique homogène, conduisent à l'édification de la structure grumeleuse. "Lorsqu'elle est réalisée dans la perfection, elle montre de tout petits éléments calcaires, à pâte extrêmement fine, se détachant en gris sombre, de forme générale globuleuse ou irrégulière, dont les contours ne sont jamais franchement arrêtés, et sans différenciation d'aucune sorte.(...) Ces matériaux, dont la microstructure est invariablement cryptocristalline, sont plongés dans une gangue de calcite incolore et grenue. (...) L'ordre de grandeur de ces grumeaux est de 0 mm,05, c'est à dire qu'ils sont notablement plus petits que les oolithes et les fausses oolithes.

Dans un stade de différenciation moins prononcé (...) les grumeaux, toujours séparés par de la calcite pure, contractent entre eux des adhérences multiples. Par de nombreuses étapes intermédiaires, la roche passe à des calcaires de même finesse, dans lesquels on devine, mieux qu'on ne voit distinctement, une infinité de grumeaux qui commencent à se dessiner, grâce à l'intervention d'un peu de calcite grenue. Le terme extrême de la série correspond à des calcaires qui ne montrent rien de plus au microscope que des sortes de petits nuages, vaguement individualisés, de la taille des grumeaux. Nul doute que les grumeaux typiques, c'est à dire libres, ne se relient par les transitions les plus ménagées à des calcaires homogènes, dans lesquels on discerne avec peine, de ci, de là, un commencement de différenciation morphologique, répondant au premier stade de la structure grumeleuse, dans le cas envisagé."

Il m'est pour mon compte fort difficile de déterminer la part de la diagenèse dans l'édification d'un calcaire dont la pâte est presque uniquement constituée de pellets. Je dois cependant dire que, en dehors des pellets fécaux rencontrés principalement dans des terriers, certains pellets, peu nombreux il est vrai, montrent soit un embryon de structure interne assez vague, soit des inclusions de grains de quartz détritique. D'autre part, contrairement à ce qu'a pu observer CAYEUX, la taille des pellets n'est pas uniforme. Il est vrai qu'en général ils sont de petite taille, mais il existe tous les termes de passage entre le pellet et l'intraclaste de petite taille.

Notons enfin que les descriptions de cette structure ainsi que les hypothèses sur sa formation, aussi bien par FOLK que par CAYEUX, ont été tirées d'observations sur des calcaires marins alors que, dans notre cas, il s'agit de sédiments lacustres. Bien que le milieu de sédimentation ne soit peut-être pas un élément fondamental, il se peut cependant qu'il ait une certaine incidence sur les processus diagénétiques. Aussi, avant de tirer des conclusions, il me semble plus judicieux de faire des observations et des comparaisons plus nombreuses sur des sédiments soi-disant identiques provenant des deux milieux sédimentaires.

c) La dolomie

JORDI (1955, p. 41) signale déjà, au sommet de la série calcaire dans la région d'Yverdon, la présence de bancs de dolomie. D'après cet auteur, ces bancs sont concentrés sur une toute petite partie de la coupe, comprise entre la zone où les calcaires sont les plus nombreux et la base des "Grès et marnes gris à gypse". Mademoiselle P. VOLDET, du Département de Minéralogie de l'Université de Genève, a eu l'amabilité de faire des dosages de MgO par spectrométrie d'absorption atomique sur divers échantillons provenant de la partie moyenne et supérieure de la série, prélevés dans des coupes de deux régions différentes. Il s'agit d'une coupe dans la région d'Essertines (planche 18) et d'une autre dans la Morges (planche 15). Ces dosages ont montré que la teneur en MgO était fort variable puisqu'il existe tous les termes entre un calcaire dolomitique et une dolomie. Cette dernière n'est pas forcément confinée à la partie tout à fait supérieure de la série. Je donne dans le tableau ci-dessous les valeurs obtenues ainsi que les valeurs données par JORDI pour la dolomie d'Essert-Pittet.

Echantillon N°	% CO ₂	% MgO	% CaO	$\frac{\text{MgCO}_3}{\text{CaCO}_3}$
Essert-Pittet	45,34	18,06	30,77	0,818
568 a	41,8	0,5	52,7	0,012
569	36,8	1,0	45,7	0,029
571	40,5	0,6	50,9	0,015
572	45,7	19,5	34,8	0,779
579	40,4	18,5	33,1	0,776
1103	42,1	19,7	33,7	0,812
1117	43,3	12,3	42,9	0,398
1118	32,5	2,1	39,4	0,074
1129	39,8	14,5	36,2	0,556

Tableau 7

Dans le cas d'une dolomite tout à fait pure, le rapport moléculaire $\frac{\text{MgCO}_3}{\text{CaCO}_3}$ doit être égal à 1. On peut cependant considérer que l'on peut qualifier de dolomies les roches dont ce rapport moléculaire est compris entre 0,750 et 1,00. Dans notre cas, en dehors de l'échantillon d'Essert-Pittet, trois des niveaux étudiés peuvent donc être considérés comme des dolomies du point de vue chimique.

Il se posait encore le problème de savoir si les roches rencontrées étaient bien des dolomies et non pas simplement des calcaires magnésiens. Monsieur F. PERSOZ du Laboratoire de Minéralogie de l'Université de Neuchâtel a bien voulu faire des analyses par diffractométrie des rayons X (méthode Debye-Scherrer) pour déterminer la nature cristallographique exacte de quelques-uns des échantillons analysés chimiquement. De ses études, il ressort que les minéraux constitutifs de ces roches sont bien de vraies dolomites ordonnées avec des substitutions éventuelles par du Ca ou du Fe (Dolomites calciques et ferro-dolomites).

JORDI (1955, p. 42) avait en outre donné une moyenne des analyses chimiques globales effectuées sur deux échantillons de dolomie d'Essert-Pittet. Nous reprenons ci-dessous les valeurs données par cet auteur.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	MgO	CaO	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	total
2,09	traces	1,15	0,60	0,41	0,76	18,06	30,77	traces	45,34	0,55	0,12	99,85

Au microscope, ces dolomies offrent l'aspect des calcaires du type 7. Elles sont généralement finement vacuolaires et, très souvent, gréseuses. Le banc 572 présente en outre des cristaux allongés de célestine et de rares cristaux de gypse pseudomorphosés par de la calcite. Les seuls restes d'organismes sont des valves d'ostracodes.

6.4.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" sont relativement riches en fossiles d'invertébrés et de végétaux mais assez pauvres en ce qui concerne les restes de vertébrés. Il a toutefois été possible, principalement dans la Morges et dans le Buron, près d'Essertines, de récolter les espèces suivantes :

Ungulata indet.
Rodentia indet.
Pseudotheridomys schaubi LAVOCAT
Insectivora indet.

Selon Madame M. HUGUENEY, la morphologie des dents du *Pseudotheridomys schaubi* récolté dans la Morges montre un type relativement primitif, assez proche du niveau de Cournon, bien que la taille soit identique à celle de l'"Aquitainien" d'Haslach. Il est tout à fait illusoire, si l'on ne possède qu'une seule espèce, même représentée par de nombreuses dents, de vouloir assigner un âge précis. Il est cependant possible, comme on vient de le faire, de déterminer son stade d'évolution, ce qui permet une relativement bonne approximation. On se souvient d'autre part que la faune rencontrée dans le "*Grès de Mathod*" sous-jacent nous permettait de placer ce dernier dans la partie moyenne à supérieure de la sous-zone de Rickenbach. En attendant que d'autres découvertes autorisent une plus grande précision, on peut supposer que les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" appartiennent encore à la sous-zone de Rickenbach.

A Boudry, dans un niveau marneux superposé au banc 188 de la coupe stratigraphique illustrée à la planche 16, il avait été trouvé, à la fin du siècle dernier, une mâchoire que STEHLIN a décrite comme *Soricidae* gen. & sp. nov. Ceci ne nous donne évidemment aucune indication stratigraphique mais complète l'éventail de la faune connue.

On peut aussi signaler, pour mémoire car ils se trouvent en dehors de mon territoire d'investigation, les gisements de la "*Molasse à charbon*" de la région de Paudex-Belmont à l'W de Lausanne. Ces gisements, dont la fouille a été rendue possible grâce à l'exploitation de minces lits de charbon (lignite) souvent associé à des bancs calcaires, sont situés au toit d'une série calcaire. Ils ont livré la faune suivante :

Amphicyon sp.
Anthracotheium valdense KOWALEWSKY
Microbunodon minus CUVIER
Steneofiber cf. *viciacensis* POMEL
Rodentia cf. *Eucricetodon* sp.
Erinaceidae

Anthracotheium valdense est associé ici à un rongeur non déterminé spécifiquement et à *Microbunodon minus*. Ce dernier a été trouvé à la Milloque et à Rickenbach associé à *Eucricetodon praecursor*. Bien que *M. minus* ait aussi été trouvé à Küttigen associé à *Eucricetodon collatus*, il n'a par contre jamais été trouvé à Peublanc (équivalent de Küttigen dans l'Allier) ni à Coderet. Il atteint donc la base de Küttigen mais n'a jamais été signalé plus haut. L'association d'*Anthracotheium valdense* et de *Microbunodon minus* est donc encore à placer dans la sous-zone de Rickenbach. L'âge des gisements de la série à bancs calcaires et à charbon de la région de Paudex-Belmont semble donc concorder avec celui des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" du Plateau vaudois, bien que pour cette dernière série, l'âge soit basé plus sur des déductions stratigraphiques que sur des faunes abondantes.

Les autres vertébrés rencontrés dans cette série sont :

Leuciscus sp. et *Tinca* sp. en ce qui concerne les poissons;
Crocodylus spp. ainsi que les genres de tortues *Trionyx* spp., *Emys* spp.,
Ptychogaster sp. et *Cinixys* sp. en ce qui concerne les reptiles.

Les ostracodes rencontrés sont les suivants :

Metacypris danubialis danubialis STRAUB
Metacypris danubialis punctata STRAUB
Pseudocandona sp.
Ilyocypris böhli TRIEBEL
Ilyocypris morphotype sans épines
Ilyocypris morphotype à épines
Limnocythere sp.
Cypriodopsis cf. *hessani* CARBONNEL & RITZKOWSKI
Darwinula sp.

Toutes ces espèces sont limniques. En un point cependant, aux Côtes de Calamin (planche 10), le banc 389 a fourni l'association suivante :

Metacypris danubialis danubialis STRAUB
Pseudocandona sp.
Ilyocypris morphotype à épines
Darwinula sp.

Toutes ces espèces sont limniques et chacune d'elle représentée par 2 à 5 valves ou même plus. On note en outre la présence de quelques valves de *Hemicyprideis dacica dacica* (HEJJAS) qui témoigne d'influences saumâtres.

Ceci confirme la position assez particulière de cette coupe où des influences saumâtres ont déjà été observées dans les bancs 339, 344 et 345.

Les mollusques sont plus diversifiés que dans les séries antérieures. J'ai rencontré les gastéropodes suivants :

Wenzia ramondi (BRONGNIART)
Helicidae indet.

qui sont des formes terrestres et

Gyraulus sp.
Radix socialis (ZIETEN), forme *pachygaster*
Stagnicola sp.
Galba sp.
Planorbarius cornu (BRONGNIART)
Planorbarius sp.
Limnea sp. qui sont des genres limniques.

A Essertines, le banc 531, planche 13 a en outre livré quelques rares exemplaires d'*Hydrobia* sp., ce qui dénote la présence d'influences saumâtres.

En ce qui concerne les algues enfin, les espèces suivantes de charophytes ont été rencontrées :

Sphaerochara granulifera (HEER)
Sphaerochara hirmeri (RASKY)
Sphaerochara sp.
Croftiella escheri (UNGER)
Tectochara meriani (HEER)
Rhabdochara praelangeri CASTEL
Rhabdochara aff. *langeri* (ETTINGS.)
Chara microcera GRAMBAST & PAUL

A Valeyres-sous-Rances (banc 459, pl. 12) et à Essertines (banc 527, pl. 13) on note en outre la présence de quelques rares "*Chara*" *langenalis* STRAUB. La présence de cette espèce est intéressante à mentionner puisque, selon Madame M. FEIST-CASTEL, il semble que jusqu'à présent elle n'ait été signalée que dans le Miocène supérieur.

Comme nous l'avons déjà vu, *R. praelangeri*, rencontrée dès la série des "*Marnes bariolées s.str.*" possède une extension stratigraphique théorique à cheval sur Cournon et Coderet, mais monte, chez nous, jusqu'à la base de Paulhiac. Sa seule présence ne nous fournirait aucune indication stratigraphique. Cependant, la présence de quelques représentants d'une espèce à affinités *langeri*, dont l'extension s'étend à cheval sur Coderet et Paulhiac ainsi que la timide apparition de *S. granulifera*, couvrant les zones de Coderet et de Paulhiac, nous autorise à penser que l'on se trouve encore dans la partie inférieure de Coderet.

En conclusion, si l'on confronte les indications fournies par les mammifères et les charophytes, il apparaît que les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" sont à placer dans la partie supérieure de la sous-zone de Rickenbach.

6.4.4 Ecologie et sédimentologie

Cette série est très importante puisqu'elle traduit un arrêt momentané de la prépondérance de la sédimentation détritique fluvatile, caractérisée par des variations latérales considérables, au profit d'une sédimentation à caractère lacustre prédominant. Cette sédimentation lacustre possède une extension horizontale relativement grande et elle est en outre caractérisée par

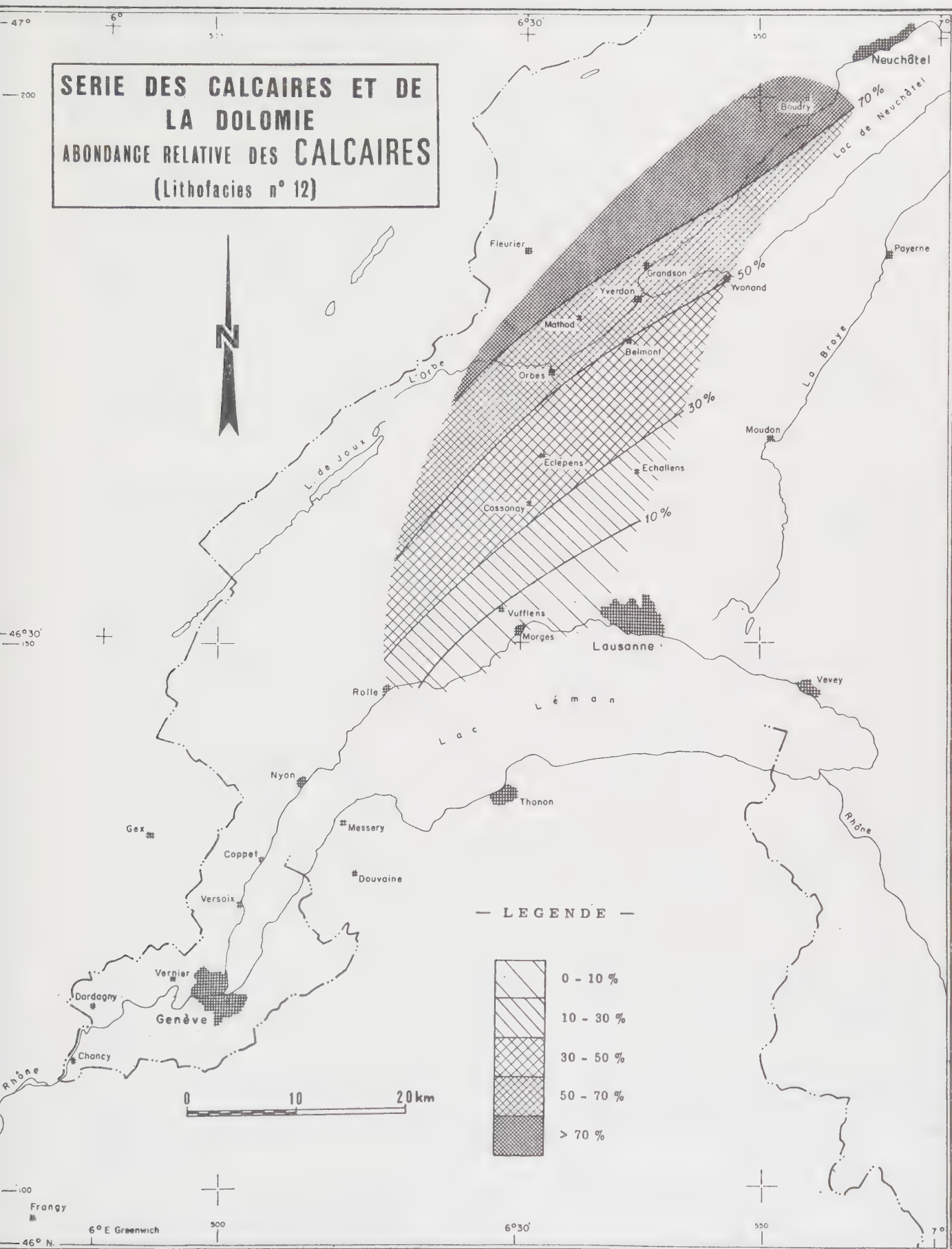


Figure 25

l'abondance des sédiments carbonatés.

En bonne logique, l'importance de cette sédimentation carbonatée croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone des apports détritiques. Ainsi, dans le S, les silts et argiles détritiques sont abondants, ce qui provoque, par mélange avec la phase carbonatée, le dépôt de sédiments calcaréo-marneux (lithofaciès 11) dont les fréquences peuvent atteindre 55%. Vers le N au contraire, au pied du Jura, les apports détritiques sont souvent presque nuls si bien que la fréquence des calcaires marneux est tombée à près de 10%, tandis que les calcaires (lithofaciès 12) deviennent prédominants et représentent près de 50% des fréquences de l'ensemble de la série.

La figure 25 montre l'allure de la répartition géographique de l'abondance relative des calcaires (lithofaciès 12). Les valeurs ayant servi dans l'élaboration de cette figure ont été calculées sur la partie de la série où les bancs calcaires sont les plus nombreux et concentrés sur une portion resserrée de la coupe. Il a donc été fait abstraction des zones de passage aux séries sus et sous-jacentes tandis qu'au contraire, les chiffres donnés dans le paragraphe précédent étaient basés sur l'ensemble de la série. Il me semble inutile de faire de longs commentaires sur cette figure, en elle-même suffisamment explicite. Tout au plus peut-on dire qu'elle ne représente qu'une tendance générale et qu'à l'intérieur du périmètre indiqué, certaines coupes peuvent présenter des variations sensibles. La courbure et la disposition des lignes d'isovaleurs indiquent cependant clairement que l'origine des sédiments détritiques se situait au SE de Lausanne. Nous sommes hélas très limités dans nos possibilités en vue d'étendre nos connaissances en dehors de l'étroit couloir figuré. A l'W, les affleurements des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" ont disparu par suite de l'érosion et, à l'E, ils sont recouverts par les puissantes séries du Miocène.

Il se pose aussi le problème des causes ayant conduit relativement rapidement à des changements aussi importants des conditions de sédimentation. Il est bien entendu que, tout au long de son histoire, le bassin de sédimentation molassique était subsident. Cette subsidence a particulièrement été étudiée et clairement démontrée par les nombreux travaux de BERSIER (1938, 1948, 1949, 1953, 1958). La forme asymétrique de ce bassin - sa profondeur maximum ou, tout au moins, sa zone de subsidence maximum étant située dans sa partie S - ainsi que la subsidence continue permettaient aux fleuves venus des Alpes de le combler assez uniformément par étalement régulier du matériel déritique. Cet étalement se faisait par divagation fluviale à partir des sommets des deltas. Contrairement à ce qui se produit dans le cas de bassins non subsidents, les positions des sommets des deltas sont restées relativement constantes au cours de l'Oligocène. Suivant les conditions hydrodynamiques et les parcours suivis par les fleuves, les sédiments détritiques grossiers parvenaient plus ou moins loin dans le bassin. A un moment pourtant, la subsidence sur la bordure S de ce bassin a dû s'effectuer plus rapidement ou l'axe de subsidence migrer vers le S. La zone où se déposaient les sédiments détritiques grossiers s'est donc trouvée déplacée plus au S et la région N du bassin a été ainsi le siège d'une sédimentation plus tranquille, quelquefois interrompue par de rares arrivées détritiques. Il ne faut toutefois pas conclure que sédimentation tranquille signifie tranche d'eau importante. Il existait de nombreuses zones émergées ou subémergées et les profondeurs maximales semblent avoir été de l'ordre de quelques mètres. En effet, comme dans le reste de la série, la faible épaisseur de la tranche d'eau et la proximité des terres émergées sont attestées par la présence de débris végétaux ou animaux d'origine terrestre ainsi que par de fréquents niveaux palustres. La prédominance des sédiments calcaires est due en majeure partie au déficit en apports terrigènes. Cet apport de détritiques très restreint favorise la précipitation des carbonates pour deux raisons principales.

D'une part, les seuls résidus de l'érosion alpine parvenant aussi loin dans le bassin de sédimentation ne peuvent le faire que sous forme dissoute et leur dépôt se produit par précipitation directe. D'autre part, l'absence de particules détritiques permet la prolifération des organismes, dont certains, comme les algues, vont, par effet photosynthétique, soutirer du gaz carbonique à l'eau et provoquer ainsi la précipitation des carbonates par une voie indirecte.

Nous avons aussi vu que, vers le Jura, les bancs calcaires sont plus épais et, souvent, dépourvus de joints marneux importants. Ceci est dû aux causes que je viens d'énumérer ci-dessus auxquelles s'ajoute le fait que les eaux issues des zones émergées du Jura étaient fortement carbonatées. On a donc, dans cette région, un apport bilatéral des carbonates, ce qui explique leur abondance.

Parmi les calcaires, un groupe retient particulièrement notre attention et pose de nombreux problèmes. Il s'agit du type 1 de la classification ou calcaire concrétionné. Les conditions dans lesquelles ces sédiments se sont formés n'étant pas toutes connues, on est réduit à émettre des hypothèses. Parmi ces dernières, il semble que celle de DURAND (1963), que nous avons admise pour certains calcaires des "*Calcaires d'eau douce inférieurs*" doive être écartée. En effet, pour cet auteur, ces sédiments seraient une croûte zonaire "formée par dépôt de calcaire précipité au

sein d'une nappe d'eau chargée de bicarbonate de calcium, ruisselant en nappe sur des pentes douces favorisant son étalement et l'évasion du gaz carbonique". La zonation serait due à l'intermittence du phénomène. Les calcaires concrétionnés rencontrés ici renferment fréquemment de nombreux organismes vivant dans des nappes d'eau pérennes : poissons, charophytes, ostracodes, planorbes, limnées, etc., dont la présence n'est pas concevable dans un milieu subaérien.

FREYTET (1965), dans son étude des croûtes zonaires observées dans le calcaire de Beauce, reprend les hypothèses de DURAND en les complétant quelque peu. Pour lui, la croissance est liée, si ce n'est même conditionnée, par la présence d'algues filamenteuses. Celles-ci ont un double rôle : retenir les particules détritiques et, par activité photosynthétique, favoriser la précipitation du calcaire. Cependant pour cet auteur, contrairement à ce que l'on pourrait penser, les couches épaisses de matériel clair et comportant de nombreux grains détritiques se sont formées lorsque la population algale était clairsemée, tandis que les couches minces, de matériel sombre, auraient été déposées lors du développement optimum du feutrage algale. Si, dans notre cas également, la présence d'algues liées à la précipitation du calcaire est indubitable, le mode de formation proposé ici est cependant inacceptable, et ceci pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la tranche d'eau ayant existé au moment du dépôt devait être, d'une manière presque permanente semble-t-il, nettement plus importante que celle constituée par un film d'eau ruisselant. D'autre part, le dépôt s'étant effectué sur de relativement grandes surfaces, il aurait nécessité un front de ruissellement très important comme, par exemple, un alignement de sources, fait incompatible avec les conditions ayant prévalu pendant cette période.

Enfin, l'obligation d'avoir un substratum faiblement incliné permettant le ruissellement est pratiquement impensable. En effet, on conçoit mal que de petites parties du bassin molassique soient soumises à des oscillations telles, qu'entre deux dépôts lacustres typiques, elles s'inclinent temporairement pour permettre le dépôt, par ruissellement intermittent, de calcaires zonés.

Dans l'Oligocène et le Miocène de l'Ile de Majorque (Baléares), COLOM (1961 et 1967a,b) a observé des sédiments calcaires nettement et régulièrement varvés. Ces varves sont constituées par une alternance de lits clairs et foncés. Au microscope, les lits clairs révèlent un calcaire pur, riche en "chaînes calcifiées de *Melosira* (Diatomées)", quelquefois accompagnées d'oogones aplatis de charophytes, et les lits foncés sont formés de calcaire sapropélique avec, au sommet, un mince niveau riche en fer et manganèse. Des tests de planorbes et d'hydrobies se rencontrent généralement dans les niveaux blanchâtres mais non dans les lits sapropéliques. L'alternance de ces couches serait due à des variations annuelles : "On peut supposer que, pendant le printemps, les *Mélosires* se sont développés et que la précipitation de calcium a surtout eu lieu en été, ou bien que les couches blanchâtres ont dû se déposer au printemps ou en été. Vers la fin de cette saison le milieu était pauvre en oxygène, la matière organique s'accumulait, le fer et le manganèse devenaient solubles : ces métaux précipitaient dès que le mélange vertical des eaux commençait. La séquence théorique, de bas en haut, serait la suivante : abondantes *Mélosires*, beaucoup de carbonate de calcium, matière organique et, finalement, strate mince, riche en Fe et Mn, puis répétition de la séquence avec des *Mélosires*, etc.."

Dans le cas des Baléares, même si, comme nous le verrons plus loin, les organismes observés ne sont peut-être pas des diatomées mais des cyanophycées, ce processus est possible, bien qu'au Tertiaire il semble que le climat était plus régulièrement chaud qu'aujourd'hui, donc sans saisons bien marquées. Dans notre cas cependant, les lits observés sont très irréguliers, quelquefois anastomosés et, fait essentiel que j'ai déjà mentionné, la présence des "*Mélosires*" ne semble pas liée à la composition du calcaire. On les trouve aussi bien dans les niveaux clairs que dans les lits foncés. Ceci a du reste déjà été figuré par BIGNOT (1972) qui a décrit des sédiments identiques aux calcaires molassiques dans l'Eocène d'Istrie. Ces organismes apparaissent d'autre part aussi dans des calcaires tout à fait homogènes, comme ceux du type 7. En conclusion, les hypothèses de COLOM, si elles sont concevables pour les Baléares, ne peuvent être appliquées telles quelles au bassin molassique.

En dernière analyse, il m'a semblé que les sédiments se rapprochant le plus des calcaires concrétionnés étudiés ici sont constitués par les "algal mats" et les Stromatolites actuels. A part les travaux de précurseur de BLACK (1933 a et b), ces dépôts n'ont été étudiés que très récemment et avant tout en milieu marin littoral. Nos connaissances sont donc relativement incomplètes mais elles ont le grand avantage de ne pas être basées uniquement sur des hypothèses. Bien qu'effectués dans un contexte littoral à para-littoral, les travaux de BLACK sont principalement axés sur des milieux de sédimentation saumâtres et limnique à oligohalin (mangrove et marais). Alors qu'en milieu marin les chlorophycées prédominent, ce sont, au contraire, les cyanophycées qui jouent un rôle prépondérant en milieu limnique à mixohalin.

Les algues les plus importantes du point de vue sédimentologique sont les espèces filamenteuses. Les filaments algaires sont recouverts d'un manchon mucilagineux dont le rôle est essentiel dans le piégeage des sédiments. Les travaux de BLACK montrent que la colonisation

d'un sédiment fraîchement déposé par les algues filamenteuses, principalement du genre *Scytonema*, a un double effet. Tout d'abord, les parties basales des filaments, en s'insinuant dans les sédiments non consolidés, jouent le rôle d'un liant. Ensuite, les parties supérieures de ces filaments, en constituant un tapis vont, grâce à l'action de leurs manchons mucilagineux, piéger les particules libres qui se déposent. Pour BLACK (p.184) l'accrétion se fait donc uniquement par piégeage: "Amongst recent calcareous algal deposits, the Bahaman sediments stand apart from all other recorded examples in being completely unlithified, and in consisting of clastic material collected by, but not precipitated by, the algae concerned."

Le rôle de stabilisateur et d'agent de sédimentation joué par les algues a aussi été étudié en milieu continental par DURRELL & SCHIELDS (1961) et en milieu littoral à marin par GINSBURG & LOWENSTAM (1958); LOGAN (1961); MONTY (1965, 1967), pour qui la croissance des algal mats est due non seulement à l'accumulation des particules piégées mais aussi à la précipitation indirecte des carbonates, probablement due à l'activité photosynthétique des algues. Les milieux littoraux et marins ont aussi été l'objet de travaux très récents, comme ceux de HOMMERIL et RIOULT (1965) et GEBELEIN (1969).

Reprenons rapidement et à très grands traits les observations et hypothèses, quelquefois divergentes, émises par ces différents auteurs.

- Les stromatolites et algal mats actuels sont constitués par l'empilement de laminae, de l'ordre du millimètre, de matériel carbonaté. Ils se présentent sous deux types morphologiques principaux :

- a) formes hémisphériques plus ou moins isolées;
- b) tapis continu, plus ou moins épais, plat ou légèrement ondulé.

Les calcaires concrétionnés des séries molassiques sont du second type.

- L'examen de la structure des algal mats montre que les grains de matériel détritiques ou précipités sont mêlés ou interstratifiés avec des algues et des mucilages.

- Les composants organiques sont principalement des cyanophycées, de types filamenteux et coccoïdes, associées à des diatomées, des bactéries, etc.. Actuellement, la taxinomie de ces organismes est encore fort confuse, surtout par le fait que jusqu'ici ils n'ont été que fort peu étudiés. En milieu intercotidal, parmi les cyanophycées filamenteuses, les genres *Schizothrix* et *Microcoleus* semblent les plus importants, tandis que dans les formes coccoïdes, le genre le plus fréquemment rencontré est *Enterophysalis*. Un autre genre très important d'algues filamenteuses, rencontré aussi bien en milieu limnique que marin, est *Scytonema*. On le trouve généralement dans les endroits susceptibles d'être périodiquement ou perpétuellement submergés par des eaux pluviales ou fluviales ou par les hautes eaux des marées.

- Les algal mats ne peuvent servir comme indicateurs de milieu puisqu'on les rencontre du milieu infracotidal au supracotidal, voire même en milieu semi-aride (DURRELL & SHIELDS, 1961). Ils peuvent cependant fournir des indications bathymétriques puisqu'ils ne semblent pas descendre en dessous de 1 à 2 mètres suivant l'importance des marées.

- La structure multilaminaire des algal mats correspond à une discontinuité des divers facteurs régnant dans le milieu de sédimentation pendant la croissance. Cette discontinuité peut résulter de fluctuations dans le degré d'humidité du sol en milieu supracotidal, de variations de la salinité, de la luminosité, de la température de l'eau, de la vitesse et du sens des courants et, enfin, du taux de sédimentation dans les milieux inter à infracotidaux.

Pour MONTY (1965, p. 272) et GEBELEIN (1969, p. 59), l'association d'une couche plus épaisse riche en sédiments et d'une couche mince presque uniquement algale est due à un phénomène nyctémère causé par le cycle de croissance de la colonie algale en fonction des variations de luminosité au cours du jour. Pour HOMMERIL et RIOULT (1965, p. 143) le cycle serait bisannuel. Pour LOGAN (1961, p. 527) le phénomène de lamination est lié aux marées, mais des irrégularités dues à l'irruption de sédiments dans la zone intercotidale lors de gros orages sont fréquemment observées.

- Enfin, l'accumulation des sédiments serait due, selon BLACK; GEBELEIN; HOMMERIL et RIOULT, uniquement au piégeage des particules détritiques, tandis que, pour LOGAN et pour MONTY, elle résulterait du piégeage combiné avec une précipitation, probablement due à l'activité photosynthétique des algues.

Ces rappels concernant les algal mats actuels ainsi que les diverses théories quant aux conditions régissant le dépôt des calcaires zonés ou concrétionnés étant posés, il est temps de les confronter avec les observations faites sur des calcaires molassiques de type structural voisin. A chaque observation je ferai correspondre les hypothèses qu'elle suggère quant au mode de formation possible.

a) Les premiers traits structuraux typiques sont l'ondulation et la discontinuité des lits ainsi que leur anastomose relativement fréquente. Un substratum légèrement et très finement onduleux n'est pas susceptible, à lui seul, de provoquer longtemps un tel effet : il y a très vite comblement des petites dépressions. Sans toutefois écarter complètement cette hypothèse, il faut aussi supposer soit qu'à chaque instant existaient des conditions très variables dans l'épaisseur de la tranche d'eau, cette dernière pouvant même être absente, soit que l'approvisionnement en sédiments se faisait d'une façon différentielle. Ces deux phénomènes étant bien souvent liés.

b) La fraction détritique (quartz, feldspaths etc..), si elle existe, est excessivement faible. Il est d'autre part impensable d'imaginer un apport de carbonates détritiques. L'accrétion n'a donc pu se faire que par précipitation de carbonate.

c) Des indications sur les conditions prévalant dans le milieu de sédimentation sont fournies par la présence de fossiles divers.

- Planorbes, ostracodes et charophytes, tous organismes nécessitant pour vivre la persistance plus ou moins prolongée d'une tranche d'eau, aussi mince soit-elle.
- Tubes calcaires microscopiques d'origine controversée.

COLOM (1961, 1967 a, b), dans ses travaux sur les terrains tertiaires de Majorque, figure des formes semblables à celles rencontrées ici et les attribue aux restes calcifiés de chaînes de diatomées des genres *Melosira*, *Cyclotella* etc.

BLACK (1933 a), dans son étude des sédiments récents des Bahamas, donne une illustration des cyanophycées du genre *Scytonema*, principaux agents dans l'élaboration des algal mats et des stromatolites. Leurs dimensions sont très voisines de celles des organismes rencontrés ici.

Enfin, BIGNOT (1972), dans ses chapitres relatifs aux sédiments tertiaires, figure sans les décrire des "feutrages de tubes de cyanophycées disposés en tous sens et évoquant des *Microcoleus* actuels."

Dans l'attribution des tubes observés à un groupe d'organismes, les deux derniers auteurs optent pour des cyanophycées filamenteuses. Dans le cas de BLACK, il ne s'agit pas d'une hypothèse mais d'observations sur des sédiments actuels, ce qui donne plus de poids à son affirmation. Personnellement, mon expérience ne m'aurait pas permis de découvrir l'origine de ces organismes mais, dans le choix qui m'est offert, mes observations me font plutôt incliner pour la seconde solution. En effet, les sections perpendiculaires à l'allongement des tubes montrent la succession suivante : couche périphérique de micrite d'une épaisseur moyenne de 7 microns (4,6 - 10,1), mince couche foncée, de 1 micron environ, comportant des petits cristaux de calcite; centre de calcite spathique ou microspathique de 15 microns de diamètre en moyenne (12 - 18). Ces faits me suggèrent l'interprétation suivante : le centre de calcite spathique est dû au remplacement du cytoplasme, la mince couche foncée à microcristaux de calcite représente la membrane de l'algue tandis que la couche épaisse micritique pourrait correspondre au manchon mucilagineux du filament algaire. On peut espérer que les études ultérieures, déjà annoncées par BIGNOT, permettront de lever le doute qui subsiste.

Qu'il s'agisse de diatomées ou de cyanophycées importe en fait peu puisque, dans les deux cas, la signification écologique est très voisine. Les deux groupes peuvent d'autre part fort bien, par activité photosynthétique, avoir favorisé la précipitation du calcaire.

En conclusion, les restes d'organismes contenus dans les calcaires concrétionnés tendent à faire admettre que la tranche d'eau, si elle pouvait être extrêmement mince, était cependant relativement pérenne et que la précipitation du calcaire était accélérée par l'activité des algues. Cette précipitation se faisait d'une façon irrégulière, peut-être à la suite de changements périodiques des conditions physiques du milieu.

d) Le dernier point que je soulève maintenant ne constitue pas une observation mais une constatation. En effet, il ne faut pas oublier que, par rapport aux algal mats actuels, les sédiments molassiques ont subi une compaction importante et, peut-être, une certaine recristallisation qui ont pu partiellement effacer les traits structuraux initiaux.

A la suite des observations et hypothèses que nous venons de passer en revue, que peut-on retenir quant au mode de formation des calcaires concrétionnés ? Il me semble que la solution la plus simple réside dans une combinaison des théories de FREYTET (1965), adaptée aux conditions de la sédimentation molassique, et de celle de la formation des algal mats. En effet, il semble fort probable, même si l'on n'en retrouve pas toujours des témoins, que, dans des eaux parfois très peu profondes, un tapis algaire ait existé. Ce dernier, par activité photosynthétique des algues, favorisait la précipitation du calcaire et pouvait, au besoin, retenir d'éventuels grains détri-

tiques. On remplace, dans la théorie de FREYTET, l'écoulement intermittent de l'eau sur une faible pente par des fluctuations, au sein d'une nappe d'eau horizontale, des conditions physiques du milieu. Ces dernières peuvent être de deux ordres : soit des changements à l'intérieur de la nappe d'eau (variation de la luminosité, température, salinité, etc.), soit assèchement ou sub-assèchement de ladite nappe.

En ce qui concerne la sédimentation générale de la série des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*", on a vu que le régime presque uniquement fluvial des séries précédentes a fait place à une sédimentation calme de type limnique dominant, ce qui autorise le dépôt de sédiments fortement carbonatés. Cette sédimentation est cependant parfois interrompue par des arrivées de sédiments détritiques généralement fins. Les dépôts s'effectuent toujours dans une basse plaine plus ou moins submergée. Ce qui a changé le régime de sédimentation, ce sont d'une part un niveau hydrostatique légèrement plus élevé que dans les séries antérieures et, d'autre part le fait que les apports détritiques ne pénètrent plus aussi loin dans le bassin. La sédimentation fluviale se produit toujours mais plus au S. Dans la région étudiée, elle s'effectue dans des lacs et des marais plus ou moins en connexion et entre lesquels serpentent les extrémités distales des bras fluviaux.

Au sommet de la série, on assiste au dépôt de quelques bancs de calcaires dolomitiques et de dolomie. Quel est le processus ayant présidé à la sédimentation de tels types lithologiques ? Il est très difficile de le dire. JORDI (1955) penche, mais en termes nuancés, pour une précipitation directe favorisée par les conditions saumâtres du milieu. En effet, nous avons vu qu'en un point la base de la série subissait des influences saumâtres. Celles-ci, qui vont devenir la règle dans la série suivante, ont déjà dû commencer à se faire sentir au sommet des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*". Quoiqu'il en soit, les dolomies actuelles sont encore trop mal connues pour que l'on puisse trancher avec certitude.

Enfin, comme nous l'avons vu, la faune, très diversifiée, comporte plusieurs genres de vertébrés. Ceux-ci permettent de confirmer nos hypothèses concernant l'imbrication des divers milieux de sédimentation. En effet, il s'agit d'un mélange d'espèces terrestres, lacustres ou fluviales et amphibies. Dans le premier groupe, on rencontre certains rongeurs et des ongulés, dans le second des poissons et dans le troisième, le plus varié, des reptiles (crocodiles et tortues) et des rongeurs (castoridés). Les invertébrés sont aussi très fréquents et leur signification paléocéologique identique à celle fournie par les vertébrés.

6.5 "Grès et marnes gris à gypse"

6.5.1 Généralités

Les "*Grès et marnes gris à gypse*" affleurent relativement bien entre Morges et Yverdon, ce qui a favorisé les observations des premiers auteurs s'étant attachés à l'étude de cette région. Le premier à faire mention de gypse dans la molasse est DE RAZOUMOWSKY (1789, t. 2, p. 153) : "on en trouve (du gypse) près de Cossonex, La Sara, Morges, & même presque par-tout entre Yverdon & Genève, où il en existe jusques dans le fonds du Lac."

Plus tard, von BUCH (1803) consacre une petite étude au gypse de la Molasse et à son exploitation dans la région de Boudry.

Dans sa monographie de la Molasse, STUDER (1825, pp. 104-105) ne fait que reprendre les données fournies par les deux ouvrages précédents.

Les premières indications sur la position stratigraphique relative de cette molasse gypseuse par rapport à la "Molasse rouge" ont été données par NECKER (1841, dès p. 375). Comme nous l'avons vu, cet auteur subdivise la série molassique du canton de Genève en deux unités : à la base la "Molasse rouge" surmontée par la "Molasse d'eau douce" dans laquelle certaines roches (p.377) "forment des couches ou des amas accidentels ou subordonnés". Ce sont des gypses de divers types, des calcaires compacts et fétides, quelquefois bitumineux et une houille sèche ou lignite. Si NECKER a établi la base de sa stratigraphie à la suite des observations faites dans le canton de Genève, il ne s'est pourtant pas borné à l'étude de ce petit territoire mais a élargi son champ d'investigation à tout le Plateau vaudois. Ceci lui a permis de voir que les subdivisions qu'il a établies ont une extension relativement importante. Ainsi, en parlant de la molasse que l'on peut observer lorsqu'on descend du plateau d'Echallens pour gagner Yverdon, il dit (p. 459) "Cette molasse alterne avec des marnes arénacées bleuâtres, dont la ressemblance avec les marnes gypseuses des environs de Genève est remarquable. Cependant, ici, l'on ne voit pas de gypse : mais proche d'Iverdon, sur cette route où dominent les mêmes marnes accompagnées de la même molasse, j'ai cru apercevoir quelques traces de gypse fibreux, en minces filets." En note infrapaginale,

PLAN DE SITUATION

Coupe : Belmont

Planche n°: 19

"Formation": *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 372 - 415

Feuille n° 1203 - YVERDON

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25 000

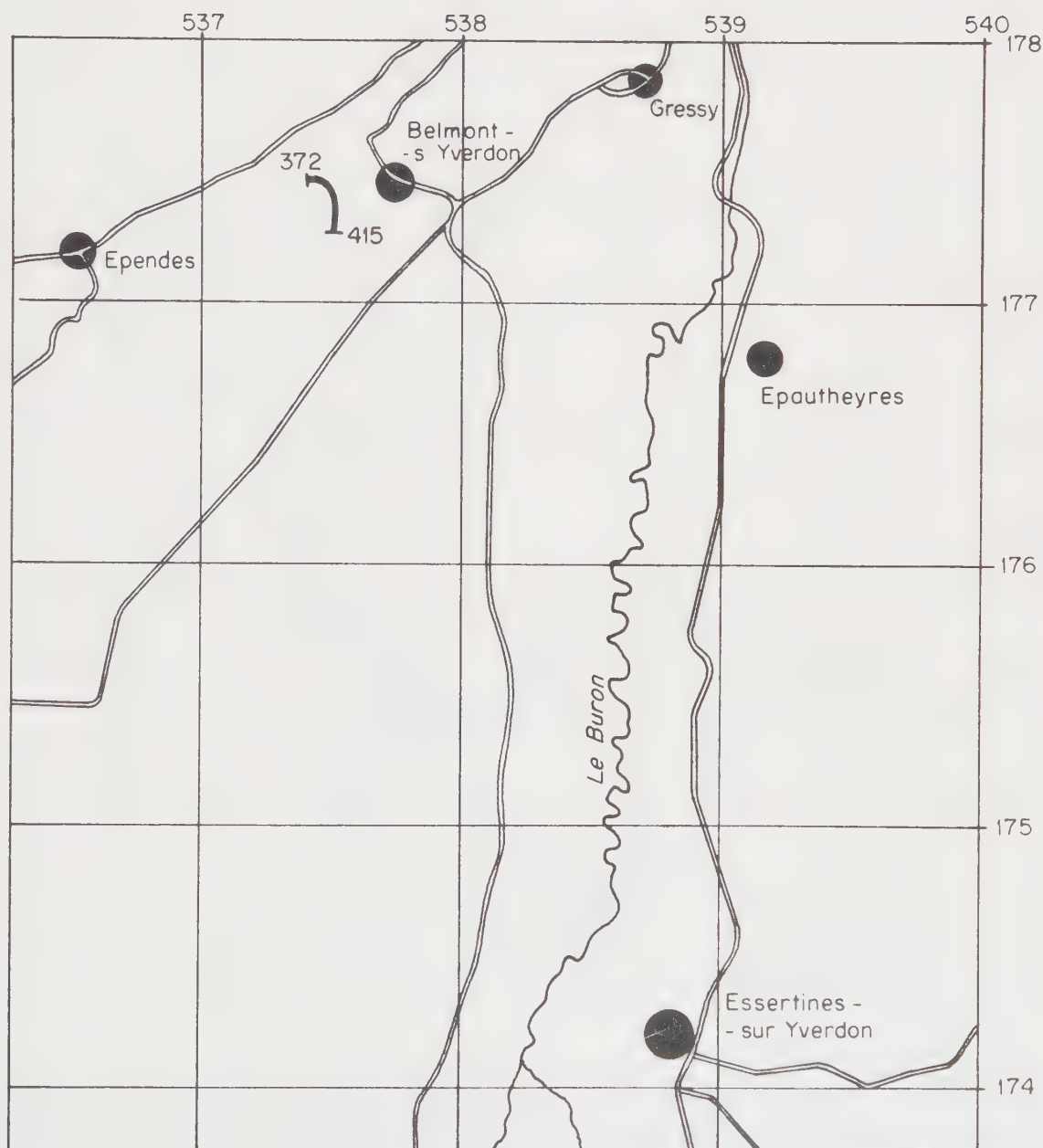


Figure 26

PLAN DE SITUATION

Coupe : Boudry (La Fabrique) Planche n°: 20

"Formation" : *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 116 - 182 et 243 - 245

Feuille n° 1164 - NEUCHÂTEL de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

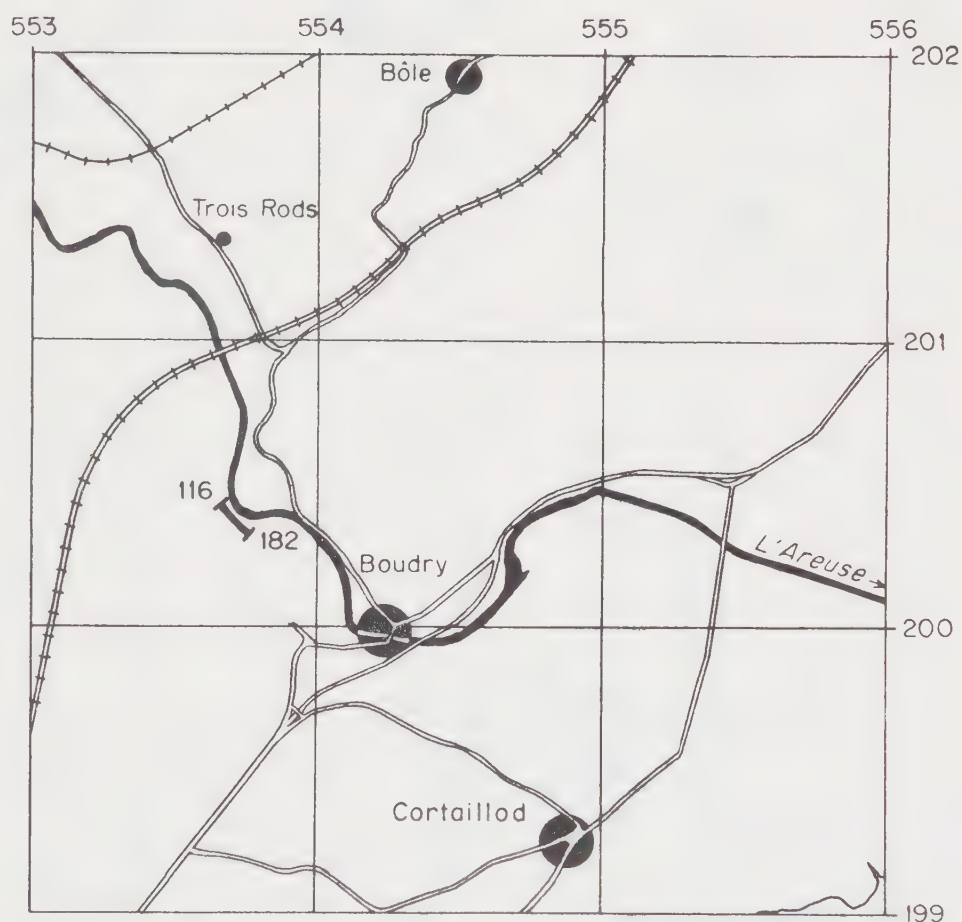


Figure 27

PLAN DE SITUATION

Coupe : Essertines

Planches n°: 21, 22

"Formation" : *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 616 - 655 et 656 - 702

Feuille n° 1203 - YVERDON

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25 000

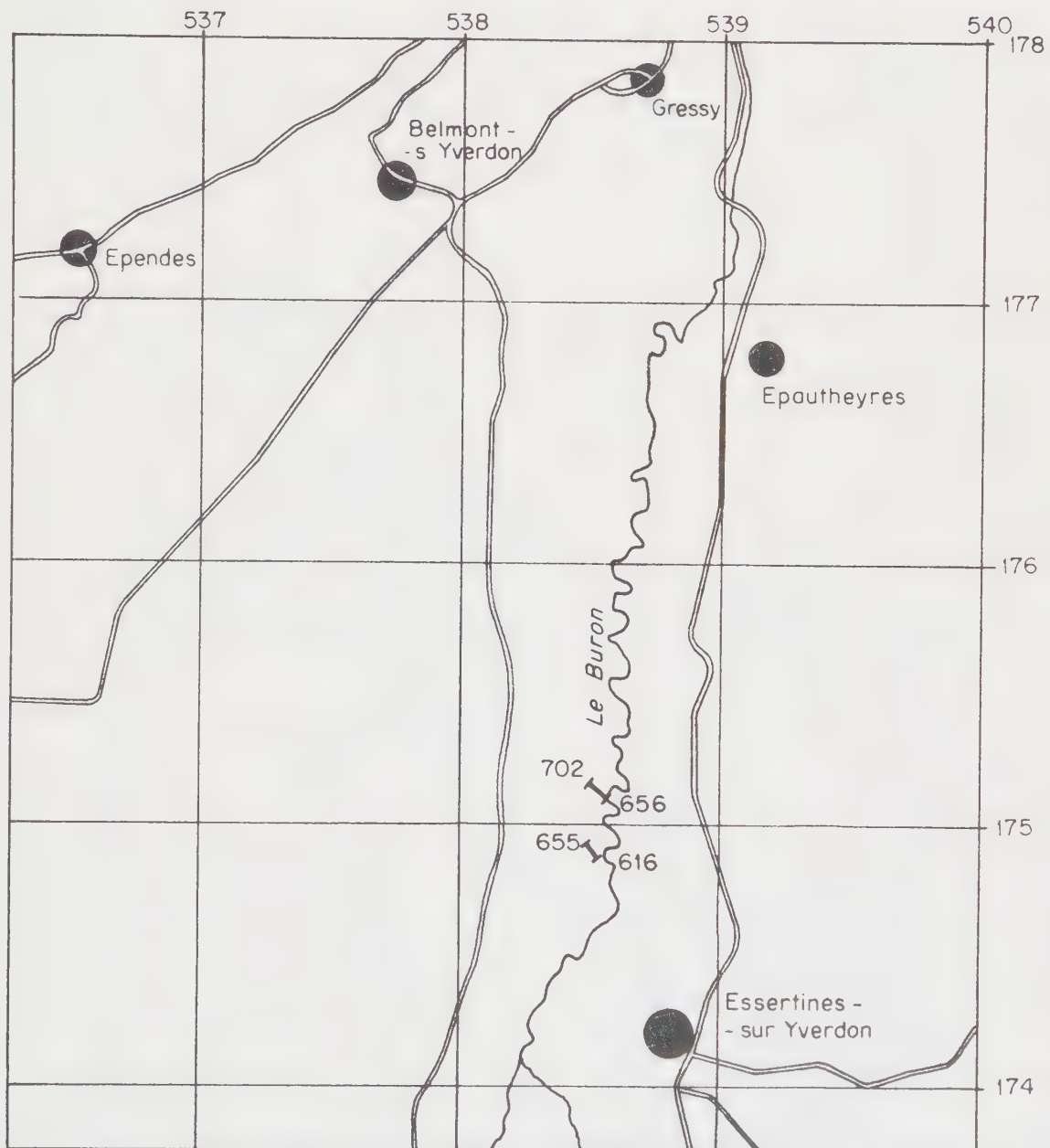


Figure 28

PLAN DE SITUATION

Coupe : La Morges

Planche n°:23,24,25.

"Formation" : *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 1013 - 1053, 1006 - 1012, 928 - 1005

Feuille n° 1242 - MORGES

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

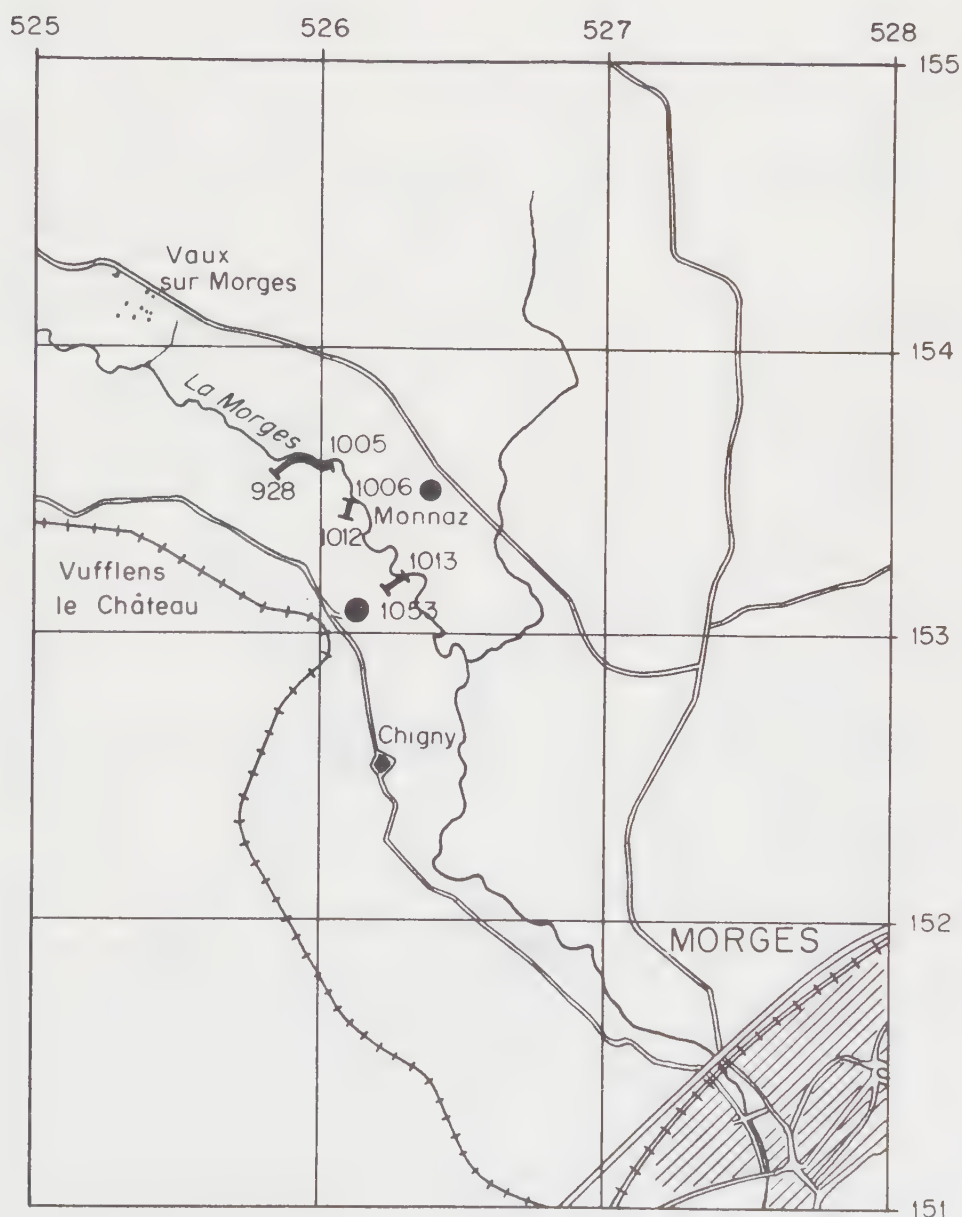


Figure 29

PLAN DE SITUATION

Coupe : Boudry

Planches n°: 26, 29.

"Formation" : *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 191 - 200 et 203 - 255

Feuille n° 1164 - NEUCHÂTEL de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

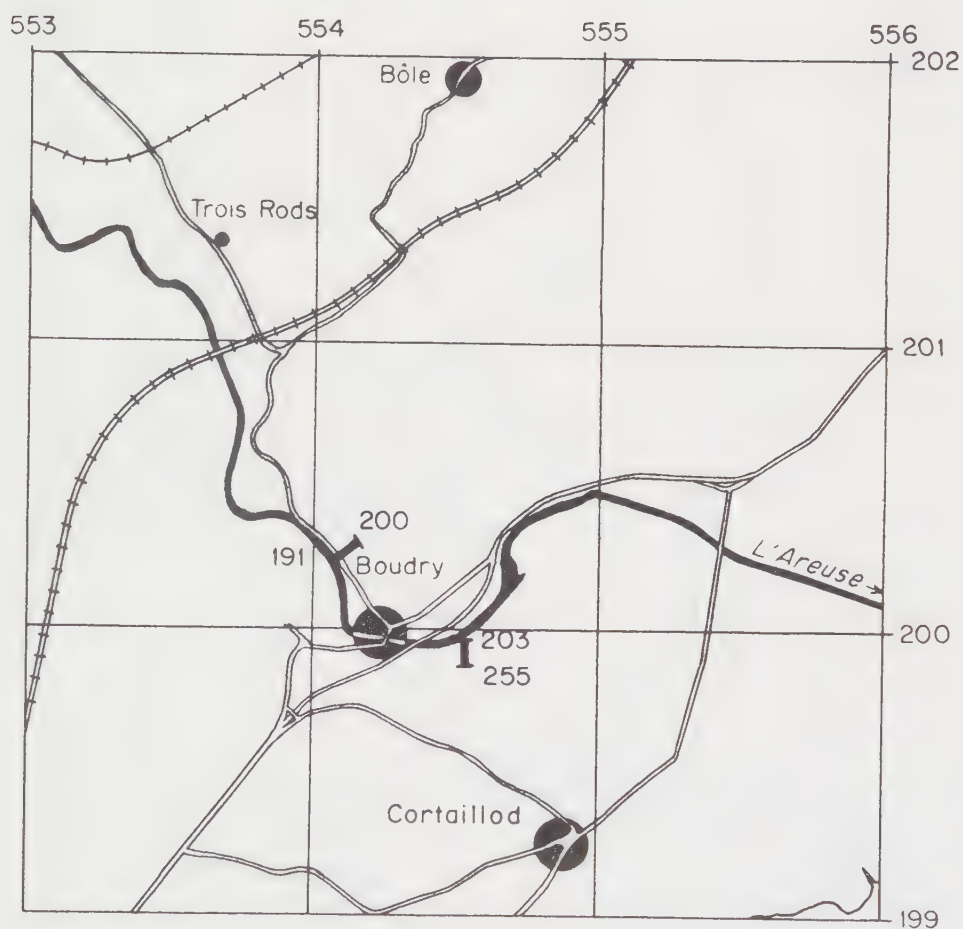


Figure 30

PLAN DE SITUATION

Coupe : La Morges

Planche n°: 27

"Formation" : *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 849 - 927 , 979 - 986 .

Feuille n° 1242 - MORGES

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

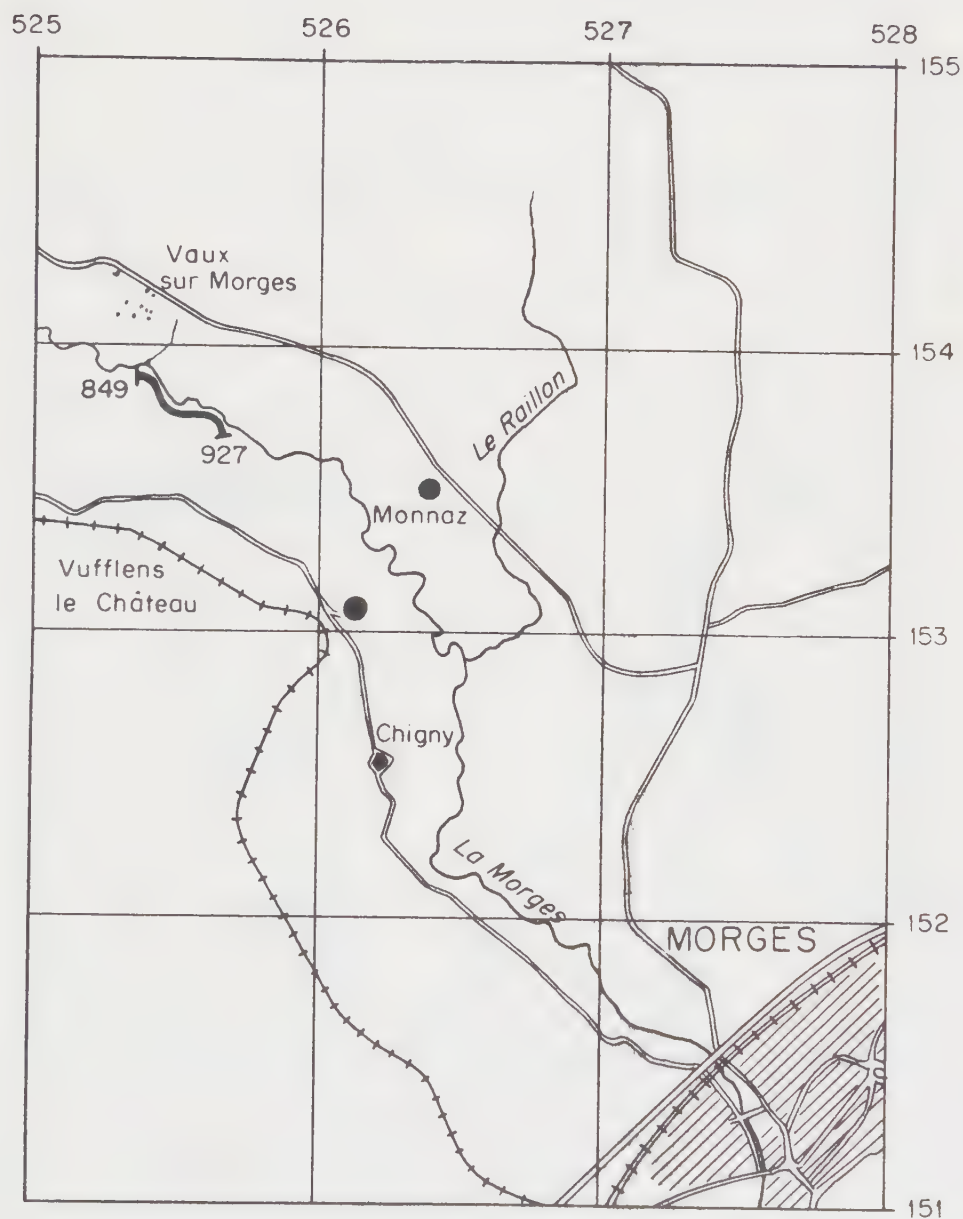


Figure 31

PLAN DE SITUATION

Coupe : Massongy

Planche n°: 28

"Formation" : *Grès et marnes gris à gypse*

N° Echantillons : 756 - 799 et 824 - 848

Feuille n° 1281 - COPPET

de la Carte nationale de
la Suisse au 1:25000

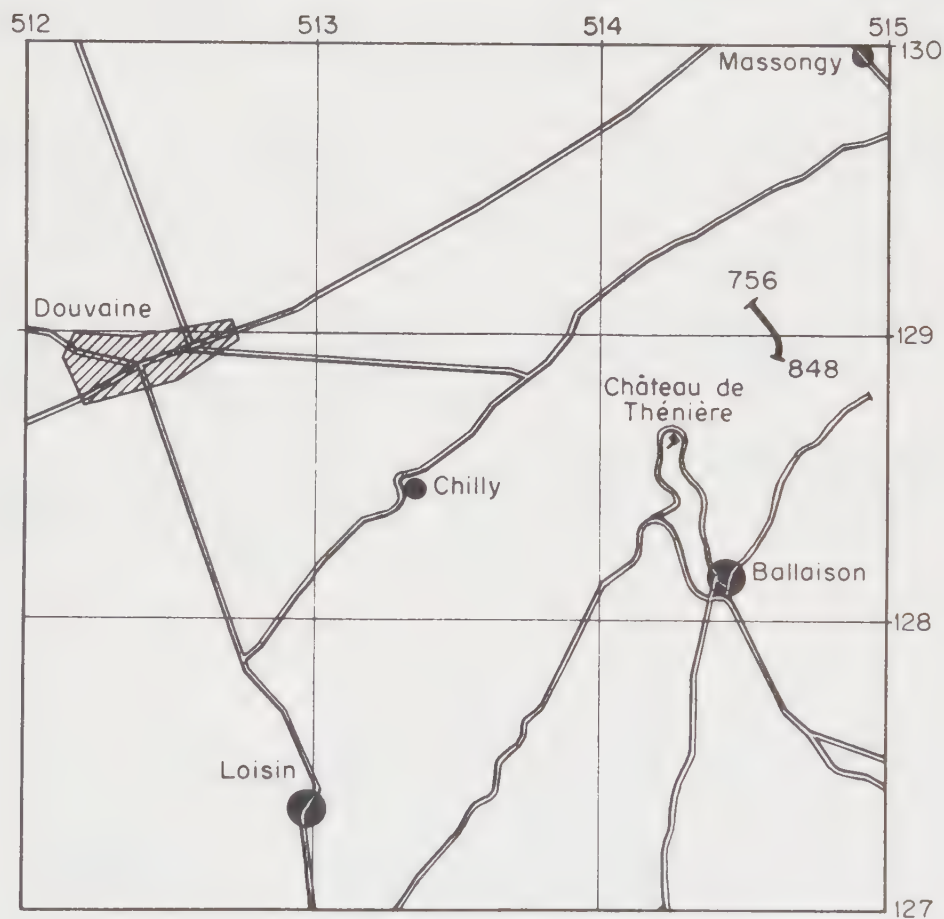


Figure 32

il ajoute : "La mollasse argileuse que l'on trouve à l'ouest et au sud-ouest d'Iverdun, appuyée près de Sussève sur le calcaire jaune jurassique du coteau de Chamblon, me paraît différente de la mollasse d'eau douce et me semble appartenir au terrain inférieur, celui de la mollasse rouge."

JACCARD (1869) ne donne qu'une liste, par région, des principaux affleurements de molasse gypseuse. En dehors des affleurements de Boisy, Bernex, Chouilly, Boudry, Echallens, etc., déjà signalés par ses prédécesseurs, il est le premier à citer des coupes très intéressantes comme celles d'Essert-Pittet, Ependes et Belmont.

Il faut ensuite attendre les travaux de CUSTER (1928) dans la région Echallens-Yverdon pour avoir des descriptions détaillées et, surtout, un essai de subdivision plus poussé de la série molassique. C'est lui qui va introduire le terme de "*Grès et marnes à gypse*" pour la série venant au toit de l'assise des calcaires d'eau douce.

JORDI (1955), de même que l'avaient déjà fait les collaborateurs de la PEK (Pétroleum-Expertenkommission) dès 1937, n'a pas conservé ce terme de grès et marnes à gypse et l'a remplacé, un peu à tort me semble-t-il, par celui de "*Marnes à gypse*" (Serie der Gipsmergel). Si les termes marneux sont souvent très abondants, voire prédominants, les grès ne sont pas moins fréquents et l'emportent quelquefois même, comme à Essertines par exemple (pl. 22), sur les marnes. JORDI propose, pour la partie de son périmètre d'investigation située au S de l'Orbe, une subdivision de la série en deux unités séparées par les "*Couches de Tillerée*". Cet horizon est formé par un ensemble de 2 à 3 mètres d'épaisseur, au grand maximum, de bancs plaquetés d'argile charbonneuse et de grès à très nombreux débris végétaux. Pour JORDI, la partie inférieure des "*Marnes à gypse*" se distinguerait de la partie supérieure avant tout par la fréquence beaucoup plus élevée des niveaux gypseux et, dans une moindre mesure, par le fait que, dans la partie supérieure, les bancs de grès sont plus épais et présentent quelquefois des bases ravinantes. Ce second point ne ressort en tout cas pas des coupes figurées par cet auteur sur sa planche IV.

Dans la région de Morges, VERNET (1956) utilise lui aussi pour cette série une dénomination donnant l'importance majeure aux marnes, puisqu'il parle de "*Zone des marnes gypsifères*". Or, si l'on se base sur les dénominations lithologiques, souvent erronées du reste, auxquelles il a recours dans la description de ses coupes, on s'aperçoit que les grès représentent, en moyenne, plus de 45% de l'épaisseur totale. Lui aussi subdivise cette série en deux unités mais sans arguments probants et sans posséder un horizon relativement net et continu pouvant servir de limite.

RIGASSI (1957, p. 22) reprend à son tour une appellation donnant la priorité aux termes marneux : "Ainsi, non seulement la lithologie et l'âge chattien supérieur, mais encore le faciès saumâtre font des "*marnes grises à gypse*" - ce terme doit être préféré à celui, impropre de "molasse d'eau douce" - un horizon très constant".

Pour ma part, je préfère reprendre le concept proposé par CUSTER en le complétant par une notion de couleur, ce qui l'oppose ainsi clairement aux séries marno-gréseuses sus et sous-jacentes. En plus des observations de certains de mes prédécesseurs, les coupes ayant servi de base à cette étude sont les suivantes, approximativement du Nord-Est au Sud-Ouest :

Plan de situation figure		
BOUDRY	Planche 29, niveaux 203-255	30
	Planche 26, niveaux 191-200	30
BOUDRY-LA FABRIQUE	Planche 20, niveaux 116-182 + 243-245	27
BELMONT	Planche 19, niveaux 372-415	26
ESSERTINES	Planche 22, niveaux 656-702	28
	Planche 21, niveaux 616-655	28
LA MORGES	Planche 27, niveaux 849-927 + 979-986	31
	Planche 25, niveaux 928-1005	29
	Planche 24, niveaux 1006-1012	29
	Planche 23, niveaux 1015-1053	29
MASSONGY	Planche 28, niveaux 756-848	32

Les lacunes entre coupes d'une même région sont généralement peu importantes et comprises entre 2 et 15 m au maximum sauf à Boudry où, entre les coupes figurées aux planches 20 et 26 elle est de près de 40 m et, entre celles des planches 26 et 29, elle est de l'ordre de 35 m,

Contrairement à ce que nous avons observé avec les "Marnes bariolées s.l.", l'épaisseur des "Grès et marnes gris à gypse" est relativement uniforme sur l'ensemble de la région étudiée puisqu'elle varie entre 200 et 250 mètres. Il ne m'a pas été possible de subdiviser, d'une manière objective et applicable à tout le territoire étudié, cette série en sous-unités. Tout au plus peut-on remarquer que, d'une façon générale, la base et le sommet sont relativement identiques par le fait qu'ils contiennent tous deux des intercalations calcaires assez fréquentes, généralement minces.

S'il est vrai que la teneur en gypse est nettement plus élevée dans la partie inférieure de la série et qu'elle devient généralement presque nulle tout au sommet, ce fait ne peut cependant pas être considéré comme un argument stratigraphique.

Comme cela a déjà été le cas pour les unités précédentes, les limites de cette série sont basées sur des changements plus ou moins évidents dans les lithofaciès ou dans les fréquences de ces derniers. A la base, le tracé d'une limite avec la série antérieure, c'est à dire avec les "Calcaires d'eau douce et dolomie" est assez aisé et souvent visible. Il n'en est cependant pas de même au sommet où la zone de contact n'affleure que très sporadiquement. Aussi les auteurs antérieurs ont-ils pris l'habitude de considérer comme base de la série suivante un ou plusieurs gros bancs de grès massifs venant au toit de la série des "Grès et marnes gris à gypse". Cet horizon gréseux est actuellement considéré comme aquitaniens et porte, suivant les régions, des noms divers. Dans la région de Morges, VERNET (1956) parle de "Grès du Moulin de Clarmont", tandis que RIGASSI (1957) utilise le terme de "Grès d'Aclens". BERSIER (1938, p. 55) quant à lui, dans son étude du Jorat, n'a pas recours à une dénomination particulière mais décrit ainsi, dans la région de Villards-Ste Croix, la fin des séries stampiennes et le début des séries aquitaniennes : "La base de cet affleurement montre sur 10 m environ une puissante série de marnes ou marno-grès jaunâtres ou de teinte sombre, surmontée par un grès moyen, compact, formant une falaise lisse, d'une épaisseur visible de 6 m., mais se poursuivant certainement plus haut dans le versant. C'est cet épais banc de grès qui représentera pour nous le début de la série aquitaniennne." Dans la région d'Yverdon, HEIM et HARTMANN (1919), puis JORDI (1955) nomment cet horizon "Grès de Cuarny".

3.3.2 Lithologie et pétrographie

Cette série est celle qui présente le plus de diversité dans les lithologies puisqu'on y rencontre des représentants des 12 types lithologiques définis à partir du diagramme triangulaire (voir figure 6, a et b). Le tableau 8 montre l'importance relative de chacun des termes lithologiques dans les diverses coupes étudiées ainsi que leur importance relative moyenne. Cette dernière

LITHO-FACIES NOS	MASSONGY 756-848	LA MORGES 849 - 1053	BELMONT 372-415	ESSERTINES 557-587 613-702	BOUDRY 116-182 191-200	BOUDRY 203-255	MOYENNE	LITHOFACIES DE TYPE
1	0	0	0	0,9	0	0	0,2	GRESEUX 21,4 % DOMINANT
2	0	4,2	5,8	6,4	3,1	6,4	4,3	
3	0	2	0	2,3	0	0	0,7	
4	5,1	7,4	35,4	16,3	12,3	20,8	16,2	
5	0	0,3	0	5	2,6	1,5	1,5	MARNEUX 67 % DOMINANT
6	2,4	12,2	13,6	15,6	7,1	15,5	11,1	
7	4,5	6,1	0	1,6	14,5	6,1	5,5	
8	69,8	57,3	33,1	40,9	46,2	46,2	48,9	
9	0	0	0,6	0	0	0	0,1	CALCAIRE 11,6 % DOMINANT
10	0	1,4	5,3	2,1	0,6	0	1,6	
11	15,1	8,9	4,6	6,5	8,8	0,5	7,4	
12	3,1	0,2	1,6	2,4	4,8	3	2,5	

TABEAU 8

est aussi présentée graphiquement sur la figure 33. Si, lorsqu'on considère l'ensemble des coupes, tous les termes sont représentés, certains n'en sont pas moins très peu fréquents, voire rares. Ainsi, les lithofaciès 1, 3 et 9. D'autres, présents dans la plupart des coupes, où dans certaines ils ont même une importance notable, se trouvent soudain manquer totalement ailleurs; c'est le cas pour le 7 par exemple. A l'examen du tableau 8 et de la figure 33, on note immédiatement que les trois termes lithologiques les plus fréquents sont, dans l'ordre d'importance, le 8, le 4 et le 6, c'est à dire le groupe des sédiments marno-gréseux.

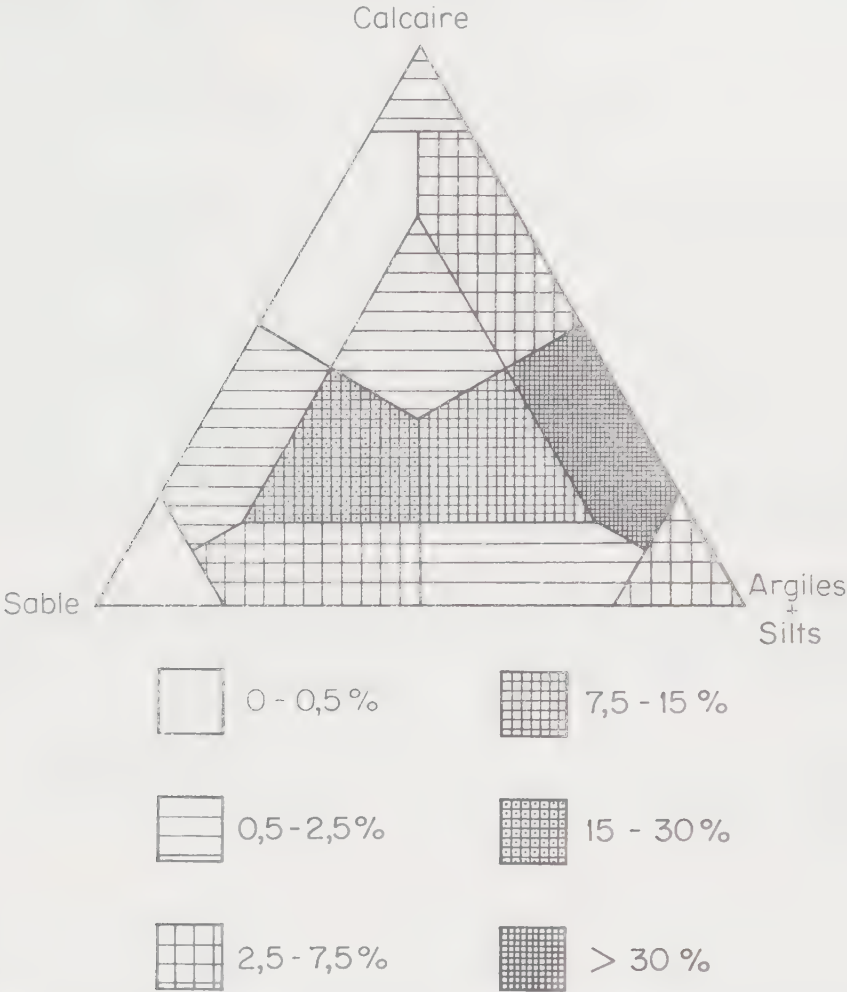


Figure 33: Fréquences des différents lithofaciès des "Grès et Marnes gris à gypse", reportées dans le diagramme triangulaire.

En résumé, les termes marneux représentent les 2/3 des sédiments, tandis que 1/5 environ revient aux termes gréseux et qu'il ne reste guère plus de 1/10 pour les termes calcaires.

La plus grande partie des sédiments présente des teintes gris à gris-vert qui les font immédiatement distinguer des termes vivement colorés des "*Marnes bariolées s.l.*". Une couleur telle que le lie-de-vin est absente dans toutes les coupes sauf à Boudry où elle est relativement fréquente. Cette dernière coupe, en faisant ainsi exception, présente, lors d'un examen superficiel, un aspect trompeur. Ces teintes exceptionnelles résultent de conditions de sédimentation particulières que nous étudierons plus loin. Dans les autres coupes, la monotonie des couleurs n'est rompue, de ci de là, que par les minces intercalations de calcaire lacustre de teinte généralement claire et par les niveaux palustres plus ou moins sapropéliques. Pour les comparaisons dans la répartition des couleurs suivant les coupes, on se reportera à la planche 31.

Groupe des grès

Parmi les grès, seul le Grès marneux (lithofaciès 4) est largement et communément représenté. Le Grès argileux (lithofaciès 2) est assez fréquent, tandis que le Grès (lithofaciès 1) et le Grès calcaire (lithofaciès 3) sont plutôt exceptionnels. Les épaisseurs les plus courantes des bancs de grès sont comprises entre 50 cm et 1 m. On ne trouve des bancs minces que dans les alternances plaquetées de marnes et de grès. Les rares bancs épais sont constitués par la partie basale et ravinante des remplissages de chenaux. Dans l'ensemble des coupes étudiées, les épaisseurs des bancs du lithofaciès 4 se répartissent comme suit : 13% des bancs sont compris entre 5 et 24 cm, 80% entre 24 cm et 2,5 m, 7% au-dessus de 2,5 m.

La pétrographie de la fraction détritique est très peu variée. Le quartz est généralement prédominant et son pourcentage oscille entre 25 et 40%. Les feldspaths sont toujours présents, ordinairement subordonnés au quartz. Cependant, dans certains cas exceptionnels, ils représentent le minéral détritique principal. Les minéraux d'importance mineure, mais en règle générale toujours présents, sont : la muscovite, la biotite souvent altérée et la chlorite. La glauconie, bien qu'en petite quantité est presque omniprésente. Les fragments de radiolarites sont très rares et, semble-t-il, surtout limités à la partie supérieure de la série. Les fragments de serpentinites, si fréquents dans les séries antérieures aux "*Calcaires d'eau douce et dolomie*", sont extrêmement peu nombreux.

En plus des minéraux détritiques, la matrice des grès contient de très nombreux petits débris végétaux plus ou moins décomposés. C'est leur abondance qui donne parfois à la roche une teinte brun sombre.

Un type de grès très particulier est à mentionner ici, c'est le grès à ciment marno-gypseux. Celui-ci devrait théoriquement, si l'on veut être strict, bénéficier d'un type de lithofaciès distinct puisqu'il est défini non par 3 mais par 4 constituants. Ce genre de sédiment étant assez exceptionnel et limité à la base d'une série, je n'ai pas jugé opportun de créer un type spécial. Aussi, dans les calculs, j'ai fait abstraction de la fraction gypseuse. Dans la dénomination, par contre, il est nécessaire de mentionner la présence de gypse dans le ciment. Au lieu de dire grès à ciment calcaire (lithofaciès 3) ou grès à ciment marneux (lithofaciès 4), on emploiera grès à ciment calcaréo-gypseux, ou grès à ciment marno-gypseux. Lors d'observations faites au microscope seul, ce ciment gypseux a, semble-t-il, quelquefois été interprété comme une silicification. Il est vrai que les propriétés optiques et parfois même l'habitus du gypse peuvent prêter à confusion, surtout lorsqu'il s'agit de remplissage interstitiel. Cependant, à défaut d'observations de terrain où l'altération superficielle est si prononcée que l'on songe immédiatement à un ciment soluble ou facilement décomposable, une simple attaque acide en laboratoire permet de lever le doute.

Un autre lithofaciès particulier rencontré dans cette série est le grès à oolithes qui a été étudié d'une manière si détaillée par BERSIER et VERNET (1956) que je juge inutile de revenir sur le sujet. Je rappellerai simplement qu'il s'agit d'un grès polygénique assez grossier dont certains grains ont servi de nucléus à des oolithes bien individualisées. Certaines de ces oolithes sont plurinucléées et comptent jusqu'à 5 noyaux.

Les couleurs les plus fréquentes sont le gris-vert et, dans une moindre mesure, le gris-brun plus ou moins foncé et le gris. Dans certains cas, de nombreuses et minuscules mouches de sulfures et d'oxydes de fer provoquent, par altération, une pigmentation brun-rougeâtre en surface.

Groupe des marnes et des argiles

Parmi ces sédiments, les termes marneux sont nettement plus importants que les termes argileux. La Marne argileuse (lithofaciès 8) est, en moyenne, le terme le plus fréquent et, en général, très nettement prédominant. Seule la coupe de Belmont fait exception (planche 19). Dans cette dernière en effet le lithofaciès 8 est supplanté, de justesse, par les grès de type 4. Dans toutes les autres coupes, le lithofaciès 8 représente au moins le 40% de l'épaisseur de la série. La lithofaciès 6 est relativement fréquent par rapport aux lithofaciès 7 et 5.

Les épaisseurs de bancs les plus fréquemment rencontrées sont celles comprises entre 50 cm et 1,10 m pour le lithofaciès 8 et celles comprises entre 24 et 50 cm pour le lithofaciès 7. Le lithofaciès 6 possède une distribution des épaisseurs plus étalée et ne présente pas de maximum limité à une seule classe d'épaisseur; près de 80% des bancs ont une épaisseur comprise entre 24 cm et 1,10 m.

La pétrographie de la fraction détritique est identique à celle des grès.

Les couleurs dominantes sont les gris plus ou moins foncés, quelquefois verdâtres. On note de nombreux niveaux noirs qui ne correspondent cependant pas tout à fait à des niveaux palustres mais sont simplement dus à des conditions d'oxydo-réduction particulières du milieu de sédimentation.

Groupe des calcaires

Ces sédiments, relativement peu fréquents, sont très inégalement répartis dans la série.

Le Calcaire gréseux (lithofaciès 9) est d'importance tout à fait mineure puisqu'il ne se rencontre que dans une seule coupe (Belmont, planche 19).

Le Calcaire argilo-gréseux (lithofaciès 10) est peu fréquent et limité principalement à la zone centrale de notre périmètre d'investigation (entre Morges et Yverdon).

Le Calcaire marneux (lithofaciès 11) est le plus abondant des sédiments de ce groupe.

Sa répartition au sein de la série est assez régulière. Les termes les plus carbonatés ont des structures identiques à celles des calcaires. On y rencontre, par exemple, des passées de calcaire concrétionné. Au microscope, les termes les plus argileux présentent généralement une pâte homogène formée d'un mélange de micrite et de particules argilo-silteuses.

Le Calcaire (lithofaciès 12) est principalement limité à la base et au sommet de la série. Il présente les mêmes types de structures que les calcaires de la série des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*". Du point de vue de la composition chimique, en dehors des impuretés argilo-silteuses ou sableuses, il s'agit de calcaires purs ou très faiblement dolomitiques à la base de la série mais jamais, contrairement à ce qui a été indiqué par VERNET (1956) de dolomies. Nous reviendrons sur ce dernier point dans le paragraphe suivant.

En ce qui concerne les épaisseurs, les lithofaciès 9 et 10 ne sont pas suffisamment fréquents pour qu'il soit possible de tirer des conclusions. Pour le lithofaciès 11, les 95% environ des bancs ont une épaisseur inférieure à 1,10 m et le maximum des fréquences se situe dans la classe des épaisseurs comprises entre 24 et 50 cm. Le lithofaciès 12 possède une distribution des épaisseurs déplacée du côté des classes des petites épaisseurs puisque les 95% des bancs ont une épaisseur inférieure à 50 cm, le maximum des fréquences se situant dans la classe des épaisseurs comprises entre 5 et 11 cm.

La pétrographie de la fraction détritique est peu variée. Il s'agit principalement de quartz et de feldspaths, ces derniers pouvant être parfois très abondants. La muscovite est commune tandis que la biotite est rare. Certains niveaux contiennent quelquefois de la glauconie en proportions notables.

Les couleurs sont relativement peu variées, à dominance grise plus ou moins brunâtre pour le lithofaciès 11 et brun-rosé quelquefois plus ou moins grise voire noire pour le lithofaciès 12.

Le gypse

Le gypse est l'élément dont la présence est relativement caractéristique de cette série. Il se présente sous plusieurs formes qui peuvent apparaître soit isolément, soit simultanément.

Gypse compact : ce type très rare est d'origine primaire indubitable. Il s'agit de bancs minces, de l'ordre de 1 à 5 cm, qui peuvent contenir des impuretés calcaires et argilo-silteuses. Ce gypse, de couleur blanc-grisâtre, quelquefois crème, est constitué de microcristaux orientés en tous sens (albâtre). La masse est parcourue par endroits par des petites veines grossièrement cristallisées.

C'est un de ces niveaux de gypse compact qui a été déterminé par VERNET (1956, fig. 1, niv. 8, pp. 180-181) comme étant de la dolomie : "La strate (8) de dolomie pyriteuse plus ou moins altérée et limonitisée, épaisse de 4 à 6 cm, forme une bande continue que l'on retrouve dans plusieurs affleurements situés en amont."

Gypse interstitiel ou ciment gypseux : ce type est relativement fréquent dans les bancs de grès de la base de la série. Il s'agit de gypse d'origine primaire ayant quelquefois recristallisé. Il apparaît comme des impuretés dans le ciment calcitique ou peut même parfois remplacer ce dernier. Dans ce cas, il se présente soit en grands cristaux limpides englobant des grains détritiques soit, s'il a recristallisé, en petits cristaux orientés en tous sens. Sa teneur peut dépasser 15%.

Gypse en roses et rosettes : Sous cet habitus, le gypse se rencontre principalement dans les marnes et calcaires marneux, quelquefois dans les calcaires et beaucoup plus rarement dans les grès. Il se présente en rosettes dont les dimensions les plus courantes sont de l'ordre du millimètre jusqu'à 1,5 cm environ. Les vraies roses, de 2 à 5 cm sont plus rares, exceptionnelles au-dessus de 5 cm.

Il s'agit, à l'origine, de gypse primaire mais qui a généralement subi des transformations ultérieures. La plus banale et fréquente est le remplacement par de la calcite, quelquefois accompagnée de cristaux aciculaires de célestine. Une autre transformation très fréquente, plus curieuse celle-là, est le remplacement des monocristaux de gypse par une mosaïque de microcristaux, c'est à dire la formation d'albâtre. Pour MARTINI (1969), cette transformation n'est pas directe et se déroule en deux temps. Dans un premier temps, par métamorphisme dû à l'enfouissement des sédiments, on assiste à la transformation des monocristaux de gypse en petits cristaux d'anhydrite. La seconde phase a lieu lorsque les sédiments, par suite de l'érosion, sont à nouveau voisins du niveau hydrostatique. A ce moment, par hydratation, il se produit une nouvelle transformation qui conduit à la formation de gypse,

Gypse fibreux : ce type est d'origine secondaire incrustante et se rencontre principalement dans les sédiments gréseux et argileux. Le gypse fibreux se présente soit en lentilles soit en veines plus ou moins étendues d'une épaisseur maximum de 5 cm. Il s'est formé par dissolution

puis remobilisation du gypse primaire. Dans certaines zones riches en sulfure de fer, on ne peut écarter l'idée qu'une infime portion du gypse secondaire provienne de l'altération de la pyrite. En effet, cette dernière s'altère très facilement en oxydes hydratés (limonite etc) en libérant de l'acide sulfurique qui donne des sulfates. Ce phénomène n'a vraisemblablement qu'une importance tout à fait mineure. Les veines de gypse fibreux peuvent être parallèles à la stratification - c'est du reste souvent le cas lorsque le niveau gypseux s'est développé le long d'un joint de stratification - ou plus ou moins obliques, c'est le cas le plus fréquent. Quelquefois des veinules de gypse fibreux sont localisées le long des failles.

6.5.3 Inventaire paléontologique et conclusions stratigraphiques

Les "*Grès et marnes gris à gypse*" sont d'une richesse considérable et d'une grande diversité en ce qui concerne les espèces de fossiles rencontrés. On y trouve des représentants de faunes terrestres, lacustres et saumâtres.

Cette abondance de fossiles ne s'applique pas, hélas, au groupe des mammifères dont les gisements connus étaient, proportionnellement à ceux des séries antérieures, très peu nombreux. A part les gisements assez riches de Boudry, signalés par HÜRZELER (1944, 1945), ceux de la région d'Yverdon, signalés par JORDI (1955) et celui d'Andilly découvert par D. RIGASSI (1957) et qui se situent tous à la limite Stampien-Aquitanién, la série des "*Grès et marnes gris à gypse*" n'était émaillée que de quelques trouvailles isolées n'autorisant généralement pas de déterminations spécifiques.

Récemment, l'inventaire faunistique de cette série a pu être complété par la description des espèces contenues dans deux gisements nouveaux (HUGUENEY et KISSLING, 1972). De patientes recherches ont en outre permis la découverte de plusieurs autres niveaux fossilifères qui sont venus élargir l'éventail des espèces rencontrées.

La partie inférieure et moyenne de la série a livré les genres et espèces suivants :

Peratherium sp.
Caenotherium sp.
Rhinoceros sp.
Issiodoromys sp.
 Sciuridae indet aff. *Palaeosciurus*
Rhodanomys schlosseri DEPERET et DOUXAMI
Pseudotheridomys pusillus FAHLBUSCH
Peridyromys murinus (POMEL)
Glirudinus glirulus (DEHM)
Plesiosminthus aff. *schaubi* VIRET
 Insectivora indet.
 Talpidae indet.
 Dimylidae indet.

Parmi les espèces rencontrées ici, trois d'entre elles ont une extension stratigraphique débutant au sommet ou dans la sous-zone de Rickenbach pour s'étendre jusqu'au sommet de la sous-zone de Küttigen ou dans la zone de Paulhiac. Il s'agit de *P. murinus*, *G. glirulus* et *P. schaubi*. On note aussi l'apparition de *Rh. schlosseri* dont l'extension stratigraphique débute dans la sous-zone de Küttigen.

Pour terminer, on remarque que les espèces contenues dans les gisements de cette partie de la série présentent un cachet légèrement plus ancien que celles du gisement type de Coderet. Ce fait, ainsi que l'apparition de *Rh. schlosseri*, nous porte à penser que l'on se trouve dans la partie inférieure de Küttigen.

En ce qui concerne la partie supérieure de la série et la zone de passage à l'Aquitanién, au sens régional du terme, les genres et espèces suivants ont été reconnus :

<i>Peratherium</i> sp.	Myoxidae cf. <i>Peridyromys</i>
<i>Caenotherium</i> sp.	<i>Glirudinus glirulus</i> (DEHM)
Lagomorpha	<i>Pseudodryomys fugax</i> HUGUENEY
<i>Titanomys visenoviensis</i> VON MEYER	Cricetodon idae
<i>Titanomys</i> sp.	<i>Eucricetodon collatus</i> (SCHAUB)
<i>Eomys</i> sp.	<i>Eucricetodon</i> sp.
<i>Rhodanomys schlosseri</i> DEPERET et DOUXAMI	Insectivora indet.
<i>Rhodanomys</i> sp.	Soricidae indet.
<i>Pseudotheridomys</i> sp	Myogalidae cf. <i>Mygatalpa</i> sp.
Myoxidae indet.	Erinaceidae
Gliridae indet.	<i>Dimyloides stehlini</i> HÜRZELER
<i>Peridyromys murinus</i> (POMEL)	

En plus de *Rh. schlosseri*, signalé dès la base des "Grès et marnes gris à gypse", deux espèces nouvelles font leur apparition dans la partie supérieure de la série, ce sont *T. visenoviensis* et *E. collatus* dont les extensions stratigraphiques débutent dans les parties moyenne à supérieure de la sous-zone de Küttigen. A Boudry, la partie tout à fait supérieure de la série, dans la zone de passage à l'Aquitanien, contient *Dimyloides stehlini*, fossile caractéristique de l'Aquitaniens inférieur, ainsi qu'un *E. collatus* dont les dimensions paraissent indiquer un âge plus récent que celui du gisement type de Coderet.

En conclusion, les "Grès et marnes gris à gypse" semblent correspondre à la sous-zone de Küttigen.

Les autres restes de vertébrés rencontrés dans cette série appartiennent à des reptiles et à des poissons. Le groupe des reptiles a fourni quelques dents de lézards et de crocodiles ainsi que des plaques de tortues. Le groupe des poissons, quant à lui, est représenté par les genres *Leuciscus*, *Scardinus*, *Tinca* et *Cobitis*. On peut très probablement aussi y ajouter les espèces suivantes de sélaciens :

Odontaspis acutissima AGASSIZ
Odontaspis cuspidata AGASSIZ
Oxyrhina desori (AGASSIZ)
Oxyrhina hastalis AGASSIZ

Toutes ces espèces ont été trouvées à Gressy près d'Yverdon et ont été autrefois considérées comme burdigaliennes. Or les seuls sédiments composant les affleurements de la région de Gressy sont à rattacher aux "Grès et marnes gris à gypse" ou à la partie basale du "Grès de Cuarny", c'est à dire qu'ils sont tout au plus aquitanien inférieur.

La présence de sélaciens ne doit pas surprendre puisqu'ils peuvent se rencontrer dans certains fleuves fort loin à l'intérieur des terres et ne sont donc pas obligatoirement liés au milieu marin. Rien ne s'oppose donc à ce que l'on considère ces restes de sélaciens comme provenant des "Grès et marnes gris à gypse", cela d'autant plus que cette série renferme de nombreuses intercalations saumâtres et que ses affleurements sont très étendus dans la région.

Un autre groupe de fossiles variés et donnant des indications écologiques mais ne présentant que fort peu d'intérêt pour la stratigraphie détaillée est celui des mollusques. Il n'est pas dans mes intentions de présenter la liste exhaustive des genres et espèces ayant été rencontrés, mais simplement de citer ceux que j'ai pu récolter ainsi que ceux déjà cités dans la littérature et qui sont importants du point de vue paléocéologique. Le groupe des gastéropodes a livré :

<i>Helicidae</i> indet.	}	
<i>Wenzia ramondi</i> (BRONGNIART)	}	
<i>Cepaea lausannensis</i> (DUMONT et MORTILLET)	}	Formes terrestres
<i>Cepaea rugulosa rugulosa</i> (ZIETEN)	}	
<i>Agardhia</i> sp.	}	
<i>Planorbidae</i> indet.	}	
<i>Planorbarius cornu</i> (BRONGNIART)	}	
<i>Planorbarius</i> sp.	}	
<i>Anisus</i> sp.	}	
<i>Gyraulus</i> (<i>Gyraulus</i>) <i>trochiformis dealbatus</i> (BRAUN)	}	
<i>Gyraulus</i> sp.	}	
<i>Radix subovata eurygaster</i> (BOETTGER)	}	
<i>Radix subovata</i> (ZEITEN)	}	Formes lacustres
<i>Radix socialis</i> (ZEITEN), forme <i>pachygaster</i>	}	
<i>Stagnicola</i> sp.	}	
<i>Limnaea</i> sp.	}	
<i>Limnaea urceolata urceolata</i> BRAUN	}	
<i>Galba</i> sp.	}	
<i>Valvata</i> sp.	}	
<i>Succinea</i> sp.	}	
<i>Pseudoamnicola</i> sp.	}	
<i>Carychium</i> sp.	}	
<i>Theodoxus</i> (? <i>Theodoxus</i>) <i>helveticus</i> (WENZ)	}	Lacustre à oligohalin
<i>Theodoxus</i> sp.	}	
<i>Hydrobia</i> proche <i>dubuissoni</i> BOUILLET	}	Oligohalin à mesohalin
<i>Hydrobia</i> sp.	}	Oligohalin à hyperhalin

<i>Tympanotonos sp., gr. margaritaceus</i> BROCCCHI	}	Mesohalin
<i>Tympanotonos sp.</i>		

Le groupe des lamellibranches, quant à lui, est représenté par :

<i>Unio sp. div.</i>	Lacustre
<i>Cyrena sp.</i>	Lacustre à oligohalin

Au sein des "*Grès et marnes gris à gypse*", les ostracodes sont très fréquents. Comme nous l'avons déjà vu, s'ils ne fournissent pas d'indications stratigraphiques précises, les ostracodes sont cependant fort utiles du point de vue paléocéologique puisqu'ils sont très sensibles aux variations de salinité.

Les espèces rencontrées dans cette série sont les suivantes :

Moenocypris sp.
Cypriodopsis hessani CARBONNEL et RITZKOWSKI
Cypriodopsis spp.
Pseudocandona fertilis TRIEBEL
Pseudocandona sp
Typhlocypris pechelbronnensis STCHEPINSKY
Ilyocypris böhli TRIEBEL
Ilyocypris sp., morphotype sans épines
Ilyocypris sp., morphotype à épines
Darwinula sp.
Neocyprideis sp.
Metacypris danubialis punctata STRAUB
Cytheromorpha zinndorfi LIENENKLAUS
Hemicyprideis dacica dacica (HEJJAS)
Hemicyprideis genavensis (OERTLI)

Les niveaux contenant l'une des deux dernières espèces, ou les deux, témoignent d'influences saumâtres, tandis que les horizons à prédominance de *Metacypris* et *Pseudocandona* sont lacustres. Comme on s'en souvient, parmi toutes les séries étudiées jusqu'ici, seule la coupe de Calamin près d'Yverdon (planche 10) présentait, à la base des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" quelques témoins de timides influences saumâtres. Ces dernières deviennent au contraire la règle dans les "*Grès et marnes gris à gypse*". On assiste alors à des oscillations eau douce-eau saumâtre qui deviennent de plus en plus fréquentes lorsqu'on s'élève dans la série. Dans la zone de passage à l' "Aquitanién", affleurant dans les coupes de Massongy, la Morges et Boudry, on note la continuation des espèces saumâtres et le déclin ou la disparition des espèces lacustres. Ce seul fait, s'il n'était accompagné de preuves étayées sur les répartitions des mammifères et des charophytes, n'autoriserait pas le tracé d'une limite stratigraphique.

On remarquera enfin que cette série voit apparaître deux nouvelles espèces. Il s'agit de *Cytheromorpha zinndorfi* et *Typhlocypris pechelbronnensis*.

Les "*Grès et marnes gris à gypse*" sont d'autre part caractérisés par la présence de nombreux niveaux à foraminifères. Ces derniers ont été rencontrés à Belmont (bancs 387, 389, 403, 411, pl. 19), à Essertines (bancs 682, 683, 702, pl. 22), à La Morges (bancs 1047, 1053, pl. 23) et bancs 972, 999, 1001, pl. 25), à Massongy (banc 756, pl. 28), ainsi que deux niveaux au Nant d'Avanchet près de Genève. Les déterminations aimablement effectuées par Monsieur F. RÜGL, de l'Institut de Géologie de l'Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich, ont donné les résultats suivants :

Cyclammininae indet.
Ammonia beccarii (LINNE)
Protelphidium subgranosum (EGGER)
Miliolidae indet.

Leur abondance, ainsi que leur état de conservation écartent l'idée d'un remaniement. Dans le cas d'*A. beccarii*, dont l'extension stratigraphique débute au sommet de l'Oligocène supérieur, un remaniement serait du reste fort problématique.

Ainsi, si l'on tient compte des indications fournies par les ostracodes, les foraminifères et les mollusques, c'est plus de 70 niveaux saumâtres qu'il a été possible de dénombrer et qui viennent s'ajouter aux quelques niveaux à ostracodes, *Cyrena* et *Tympanotonos* (anc. *Potamides*)

déjà cités par BERSIER, JORDI, RIGASSI et VERNET. L'appellation de "Molasse d'eau douce" anciennement utilisée pour les séries comprises de la base des "*Marnes bariolées s.l.*" au Burdigalien n'a donc plus aucune raison d'être employée en ce qui concerne les "*Grès et marnes gris à gypse*".

Les témoins du règne végétal sont très nombreux mais souvent mal conservés. Il s'agit en général de fragments végétaux plus ou moins carbonisés, rassemblés pêle-mêle à la surface des plaquettes de grès. C'est ce que VERNET (1956) appelle le faciès "paille hachée". En plus de ces niveaux à débris, cet auteur a pu récolter du matériel un peu mieux conservé qui a pu être grossièrement déterminé comme appartenant à des Lauracées et Papilionacées.

Dans certains niveaux marneux, il m'a été possible d'extraire des graines qui ont été aimablement examinées par Madame S. SENESSE du Laboratoire de Palynologie de l'Université de Montpellier. Leur étude n'est pas terminée mais on peut déjà dire qu'il s'agit de plantes aquatiques se rapportant au genre *Stratiotes* et aux familles des Potamogetonacae et Nymphaeaceae.

En outre, sur l'ensemble des préparations palynologiques effectuées sur des échantillons prélevés dans cette série, seuls quatre échantillons ont donné des résultats positifs. Ces quatre niveaux ont été prélevés dans les "*Grès et marnes gris à gypse*" affleurant dans la Morges. Ce sont, de haut en bas, les suivants :

banc 979	pl. 27
banc 935	} pl. 25
banc 958	
banc 1016	pl. 23

L'état de conservation n'est pas excellent mais il a toutefois été possible à Monsieur G. GORIN du Département de Géologie et Paléontologie de l'Université de Genève de reconnaître les genres et espèces suivants :

Ptéridophytes

Lycopodiaceae	<i>Retitriletes</i> sp.
Polypodiaceae	<i>Polypodiaceoisporites</i> sp.

Spermatophytes

Gymnospermes arborescentes :

Cycadaceae	<i>Cycadopites</i> sp.
Pinaceae	<i>Pinus</i> type diploxylon <i>Pinus</i> type haploxylon où il est possible de reconnaître : <i>Pityosporites microalatus</i> (POTONIE) THOMSON & PFLUG <i>Pityosporites alatus</i> (POTONIE) THOMSON & PFLUG <i>Piceapollis</i> cf. <i>tobolicus</i> (PANOVA) KRUTZSCH <i>Abiespollenites</i> cf. <i>latisaccatus</i> (TREVISAN) KRUTZSCH

Cupressaceae, Taxodiaceae, Taxaceae :	<i>Inaperturopollenites</i> sp. div. <i>Cupressacites</i> sp.
---------------------------------------	--

Angiospermes arborescentes :

Ulmaceae	<i>Polypo opollenites undulosus</i> WOLFF
Juglandaceae	<i>Triatriopollenites coryphaeus microcoryphaeus</i> POTONIE <i>Subtriporopollenites simplex</i> POTONIE et VENITZ
Oleaceae	<i>Tricolporopollenites microreticulatus</i> PFLUG & THOMSON
Eleagnaceae	<i>Slowakipollis hippophaeoides</i> KRUTZSCH

Angiospermes herbacées :

Gramineae	<i>Graminidites subtiliglobosus</i> (TREVISAN) KRUTZSCH
Restionaceae	<i>Milfordia minima</i> KRUTZSCH
Sparganiaceae	<i>Sparganiaceaeipollenites polygonalis</i> THIERGART
Chenopodiaceae	<i>Chenopodipollis</i> sp.
Sapotaceae	<i>Tetracolporopollenites obscurus</i> PFLUG & THOMSON <i>Aglaoreidia cyclops</i> ERDTMAN, l'appartenance botanique de cette espèce est inconnue.

On note aussi la présence de spores et de débris de champignons ainsi que de rares Dinoflagellés et des Hystrichosphères.

Si l'on s'attache à examiner les pourcentages des différentes espèces de pollens, on remarque qu'à travers toute la série les espèces de *Pinus* sont toujours très abondantes et représentent entre 60 et 75% des fréquences. Cependant, ce genre ne donne pas d'indications paléoclimatologiques. Il n'en est heureusement pas de même avec *Abies* et *Picea*. Ceux-ci sont absents dans le banc 1016, rares dans les bancs 958 et 935, et deviennent nettement plus nombreux dans le 979 puisqu'ils représentent près du 10% des spores et pollens. Inversément, les Cupressaceae-Taxodiaceae, très fréquentes à la base de la série, deviennent très peu nombreuses au sommet. Les Cycadaceae suivent une répartition analogue mais la raréfaction vers le sommet de la série est encore plus marquée puisqu'elles sont absentes dans le banc 979. Il est intéressant de noter que ce dernier banc n'a également pas livré de *Slowakipollis hippophaeoides*, espèce dont la disparition sert de repère stratigraphique dans le Stampien de Limagne (Communication orale de G. GORIN, thèse en cours).

En conclusion, les parties inférieure et moyenne des "*Grès et marnes gris à gypse*" semblent caractérisées par un climat relativement chaud et sec à tendance nettement continentale, tandis que vers le sommet de la série, on note un certain refroidissement. Ce phénomène est aussi connu en Limagne où le Stampien supérieur est marqué par un net refroidissement.

Enfin, de très nombreux bancs des "*Grès et marnes gris à gypse*" ont livré des charophytes parmi lesquelles il a été possible de reconnaître les espèces suivantes :

Rantzienella nitida GRAMBAST
Sphaerochara granulifera (HEER)
Sphaerochara sp.
Croftiella escheri (UNGER)
Tectochara meriani (HEER)
Rhabdochara praelangeri CASTEL
Chara microcera GRAMBAST & PAUL
Chara lagenalis STRAUB
Chara notata GRAMBAST & PAUL
Chara sp.

Par rapport aux séries antérieures, cet assemblage est caractérisé par la présence de deux nouvelles espèces. Il s'agit de *C. notata*, qui apparaît, dans la Morges, dès la partie moyenne de la série et de *R. nitida*, qui ne fait son apparition que dans la partie supérieure. Ces deux espèces sont, dans l'échelle des zones de charophytes, caractéristiques de la zone de Paulhiac, ce qui correspond, dans l'échelle des zones de mammifères, à la partie supérieure de Coderet (sous-zone de Küttigen) et à la zone de Paulhiac.

En conclusion, si l'on confronte les résultats fournis par les mammifères avec ceux obtenus avec les charophytes, on en déduit que les "*Grès et marnes gris à gypse*" débutent dans la partie supérieure de la sous-zone de Rickenbach et couvrent toute la sous-zone de Küttigen. Il se peut même que la partie tout à fait supérieure de la série appartienne déjà à la zone de Paulhiac.

6.5.4 Ecologie et sédimentologie

Après la courte période à sédimentation calme de type lacustre dominant représentée par les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*", on assiste à un retour progressif de la sédimentation fluviale. Cette dernière va dominer dans la partie moyenne et moyenne supérieure de la série puis on observe un très léger ralentissement, ce qui autorise le dépôt de quelques niveaux calcaires, avant que la sédimentation fluviale ne prenne vraiment toute son ampleur dans l'Aquitaniien. Un autre trait typique qui différencie la sédimentation de cette série de celle des séries sus et sous-jacentes c'est qu'elle s'est effectuée en milieu tantôt limnique, tantôt saumâtre. Du point de vue sédimentologique, les "*Grès et marnes gris à gypse*" sont, dans le détail, plus variés que ne l'est l'"Aquitaniien", principalement caractérisé par la présence des cyclothèmes étudiés en détail par BERSIER. Si on note la présence de certaines séquences préférentielles, voire même quelquefois de cyclothèmes, on observe en outre d'assez nombreuses structures sédimentaires. Celles-ci sont les plus fréquentes dans les coupes levées le long de la Morges. Cette région se situait approximativement dans la zone centrale des apports détritiques et la plus proche des sources. Les figures les plus couramment relevées sont des ripple marks, des pseudonodules, des flow casts ainsi que des convolute beddings. Une autre caractéristique sédimentologique de cette série c'est son allure parfois fortement plaquetée. Ceci est, par exemple, mis en évidence d'une manière particulièrement marquée sur la planche 25.

La couleur grise dominante et la présence de sulfures de fer (pyrite) portent à penser que la sédimentation s'est effectuée principalement en milieu à tendance réductrice. On note aussi de très nombreux et minces niveaux noirs dont la majeure partie correspond à des niveaux palustres souvent très étendus.

L'ensemble de ces observations ainsi que la présence de nombreux restes de plantes aquatiques parlent en faveur d'une sédimentation détritique relativement calme. Celle-ci s'est effectuée sous faible tranche d'eau mais sur des étendues d'un seul tenant plus considérables que celles qui existaient au cours des séries antérieures à celles des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*".

Dans quelques golfes abrités des apports détritiques, l'agitation des vagues a parfois vanné une partie des sables déposés et favorisé la précipitation du carbonate de calcium. Ces phénomènes conjugués ont donné naissance à des grès oolithiques. Les grains de sable ont également pu être amenés par le vent remaniant des sédiments exondés. Si le contenu sableux était peu important ou déjà partiellement compacté, ce qui empêchait son mélange, on a même pu assister au dépôt de calcaires oolithiques (RIGASSI, 1957, p. 24).

Si l'on peut considérer sans trop de risque de se tromper que cette série témoigne d'une évolution lente et saccadée entre les conditions de sédimentation très ralentie en milieu limnique dominant des "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" et celles à sédimentation fortement détritique en milieu fluvio-terrestre de l'Aquitaniien, il reste à expliquer la présence des nombreuses influences saumâtres.

Trois causes principales, dont deux sont très voisines, peuvent être envisagées pour expliquer la salinité temporairement plus élevée du milieu de sédimentation.

La première invoque une ou plusieurs connexions continues avec la mer dont l'influence ne se fait sentir que lorsque les débits des eaux douces d'origine alpine et jurassiennes pénétrant dans le bassin ne sont plus assez importants pour retenir la mer sur les marges externes du bassin.

La seconde penche aussi pour une influence marine mais qui se produirait à la suite d'envahissements périodiques du bassin de sédimentation par la mer. Ces envahissements seraient peut-être dus à des mouvements eustatiques, à la subsidence et, éventuellement aussi, à des périodes de fortes marées.

La dernière hypothèse envisage une salinité due uniquement à la concentration des eaux continentales. Dans ce dernier cas, il n'y aurait jamais d'influence marine directe.

Examinons maintenant de plus près ces hypothèses en commençant par la dernière. Celle-ci voudrait donc que l'on considère les dépôts de gypse ainsi que la salinité temporairement plus élevée comme uniquement dus à la sédimentation continentale en bassin fermé. On pourrait en effet concevoir que le gypse provienne soit d'unités tectoniques antérieures attaquées par l'érosion (Trias de l'ultra-helvétique par exemple), soit de la concentration d'eau riche en sulfates sous un climat relativement chaud. Ce dernier point n'est pas impensable. En Afrique du Nord par exemple, l'eau douce de certaines sources voit sa salinité augmenter après quelques kilomètres de parcours à la suite de la concentration due à l'évaporation. Or, dans notre cas, la présence d'un ostracode du genre *Metacypriis* semble indiquer la persistance d'un climat plus chaud qu'aujourd'hui. Ceci avait du reste déjà été constaté à la suite de l'étude de la flore ainsi que par la présence de crocodiles et de tortues. Cette hypothèse de précipitation de sels autochtones, quelle que soit leur origine, ne permet cependant pas d'expliquer, en admettant une tranche d'eau plus ou moins constante, les alternances eau douce-eau saumâtre du milieu de sédimentation. En effet, si le bassin est fermé on ne peut s'acheminer, peut-être avec quelques récurrences du milieu limnique lors de périodes de fortes pluies, que vers la formation d'un milieu salé ou sursalé. On ne peut cependant pas écarter complètement ce mode de sédimentation qui peut expliquer la présence de niveaux saumâtres passant latéralement et de toutes parts à des sédiments terrestres. La présence d'ostracodes ou de lamellibranches saumâtres n'est pas nécessairement liée à la présence de la mer. En effet, la colonisation de nouveaux milieux par de tels organismes peut être très rapide. Nous avons pu l'observer en milieu limnique dans le lac artificiel de Montsalvan (Suisse) où, environ 3 ans après la mise en eau, le lac se peuplait déjà de lamellibranches lacustres. Un exemple encore plus frappant est celui du lac Birket Qârûn près de Faiûm en Egypte qui, jusqu'en 1907, était alimenté par les eaux du Nil et possédait une faune limnique normale. A cette date il fut partiellement drainé pour permettre d'augmenter les surfaces cultivables. Dès lors sa salinité a commencé à augmenter, si bien qu'en 1927 les mollusques dominants étaient *Cardium edule* et *Scrobicularia cottardi*, qui sont deux espèces marines. Ces deux espèces se rencontraient alors en assez grand nombre pour former des bancs coquilliers sur des kilomètres de côte. Ces pélécy-podes ont dû être amenés, probablement sous forme juvénile ou larvaire, avec la boue retenue sur les pattes des échassiers venant des lacs salés de la région d'Alexandrie et distants de près de 200 km.

Mais, le phénomène d'évolution d'un milieu lacustre vers un milieu saumâtre, s'il a lieu suivant le processus de concentration par évaporation, n'a eu qu'une importance locale et très

limitée et ne peut pas, semble-t-il, être invoqué pour l'ensemble des dépôts des "Grès et marnes gris à gypse".

La seconde hypothèse pourrait être expliquée par la subsidence continue du bassin de sédimentation. Si cette subsidence se poursuit quel que soit le taux de sédimentation, la mer pourra envahir le bassin lorsque, pendant un certain laps de temps, la subsidence aura été plus forte que la sédimentation. Une nouvelle période à taux de sédimentation élevé repoussera la mer sur les bordures du bassin. On ne peut cependant invoquer un tel processus, en admettant qu'il n'y en ait qu'un, pour expliquer des alternances eau douce - eau saumâtre - eau douce, relevées sur moins de 2 m d'épaisseur dans certaines coupes, à moins bien sûr, que l'on se trouve dans un environnement deltaïque en milieu marin. Cette dernière condition ne semble pas avoir été réalisée au cours du Stampien dans la région étudiée. En effet, l'existence de cette mer entre le Jura et les Alpes n'a pu encore être démontrée et il nous faut donc admettre que les influences saumâtres ne sont pas le résultat d'une sédimentation deltaïque en milieu marin mais résultent de phénomènes de grande amplitude. Parmi ceux-ci, la subsidence continue du bassin favorisant des invasions marines lorsque les taux de sédimentations étaient trop faibles, a certainement pu jouer un certain rôle.

La dernière hypothèse qu'il nous reste à analyser est celle que nous avons citée en premier lieu. Elle est basée sur des connexions continues du bassin molassique avec la mer. Cette dernière ne se fait sentir que lorsque le débit des fleuves alpins est trop faible pour empêcher l'envahissement plus ou moins marqué du bassin par la mer.

Bien que le climat ait été sensiblement plus chaud qu'il ne l'est actuellement, nous avons vu que l'on pouvait difficilement admettre, comme seul facteur responsable de l'augmentation de la salinité, la concentration des eaux par évaporation. Les fleuves ayant apporté en bordure du bassin des éléments assez gros pour constituer des conglomérats et dont la force d'érosion ravinante se retrouve loin dans le bassin devaient avoir, au moins momentanément, des débits importants qu'une étendue d'eau peu profonde, de dimensions modestes et entourée de terres basses n'aurait pu contenir. HOFMANN (1960), reprenant aussi les travaux de FÜCHTBAUER (1954, 1955) présente un modèle de la sédimentation au Tertiaire s'appliquant à la Bavière occidentale et à la Suisse, exception faite du bassin lémanique occidental. D'après ces travaux, les fleuves alpins gagnaient la mer selon un schéma de base identique à travers toute la période oligo-miocène. Au Stampien, les rivières alpines se réunissaient pour former un énorme fleuve multiple s'écoulant du SW vers le NE, approximativement suivant un axe Yverdon-Constance. Il est à noter que, curieusement, les branches occidentales du delta pré-rhodanien divergent du sommet du delta en direction du NW pour s'incurver ensuite vers le N, puis le NE et rejoindre l'axe principal d'écoulement qui est figuré comme devant déjà être alimenté par d'autres rivières probablement situées plus au SW (HOFMANN, 1960, fig. 2a). Toujours d'après HOFMANN, ce schéma de base serait aussi concevable en ce qui concerne la sédimentation aquitanienne et burdigalienne. Dans ce dernier cas cependant, le delta pré-rhodanien n'est plus figuré.

Plus récemment, FÜCHTBAUER (1964) a présenté les résultats obtenus par des études de pétrographie sédimentaire sur les séries "chattiennes" et aquitaniennes. Pour lui, le lit principal du fleuve déversant les sédiments dans la partie occidentale du bassin molassique suisse au "Chattien" inférieur viendrait, si l'on se réfère à la figure 14a, p. 229, du SW de Lausanne pour passer près de Payerne et filer ensuite en direction de Langenthal. Au "Chattien" supérieur, le lit du fleuve s'est considérablement déplacé puisque son entrée dans le bassin se serait effectuée approximativement au Bouveret. Le reste du parcours est simplement légèrement décalé vers le N. C'est à dire que son tracé est figuré comme passant par le Mont Vully pour aller rejoindre, dans la région de Soleure, un fleuve venant de la région du Lac de Thoun. Le fleuve résultant de cette jonction obliquerait alors vers le N en direction de Bâle et pourrait avoir alimenté le fossé rhénan, subsident dès l'Oligocène inférieur. Pendant la période s'étendant du "Chattien" terminal à l'Aquitaniens basal, le pré-Rhône aurait temporairement disparu et les autres rivières considérablement diminué d'importance. La subsidence continue n'aurait ainsi pas été compensée, le taux de sédimentation ayant été trop faible. La mer, jusqu'ici confinée à l'E de Munich, se serait avancée vers l'W au delà de l'Iller. Pour FÜCHTBAUER, le caractère saumâtre des sédiments du bassin lémanique serait la conséquence lointaine de cette transgression. Le pré-Rhône ne se serait à nouveau manifesté qu'à l'Aquitaniens supérieur et se serait, une fois encore, écoulé vers le NE.

A cette époque cependant, il semble que la liaison du Plateau vaudois avec le bassin de Bellegarde-Seysre ait été clairement mise en évidence par RIGASSI (1957, p. 26). Cet auteur démontre que la transgression miocène est venue du SW vers le NE. D'autre part, les travaux de WAGNER et WELLHAUSER (1966) et WAGNER (1970) ont confirmé la grande analogie lithologique ainsi que la parenté pétrographique des éléments détritiques des séries oligo-miocènes dans les bassins lémanique et savoyard.

S'il est incontestable qu'une partie des rivières alimentant le bassin molassique suisse s'est écoulée vers le NE dans la mer bavaroise, il semble très probable que celles de la région lémanique se soient écoulées vers le SW en direction d'une mer "dauphinoise" ou plus méridionale encore mais dont nous n'avons pas encore retrouvé les traces. L'allure du delta pré-rhodanien ainsi que les directions générales d'étalement des détritiques sont déduites des observations sédimentologiques dont certains résultats sont esquissés sur les figures 7 et 25,

Revenons maintenant à l'objet de nos préoccupations qui sont les différentes hypothèses relatives à l'origine des influences saumâtres relevées dans les "*Grès et marnes gris à gypse*".

Nous avons vu que l'hypothèse d'un accroissement de la salinité dû uniquement à la concentration par évaporation, si elle était peut-être concevable dans le cas de dépôts d'extension très restreinte, ne permettait cependant pas d'expliquer les alternances répétées eau-douce - eau saumâtre observées sur des étendues relativement importantes.

Deux autres hypothèses restaient alors à examiner. Celle qui admet des connexions permanentes du bassin molassique avec la mer et celle qui suppose des influences temporaires de cette dernière à la suite de mouvements eustatiques. Il me semble que les alternances eau douce - eau saumâtre sont liées à la convergence plus ou moins prononcée des deux phénomènes. L'exutoire des rivières alpines a toujours été une mer qui, lorsque le taux de sédimentation et les débits liquides étaient importants, a été repoussée loin à l'extérieur du bassin. A un moment cependant, dès la série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*", nous avons vu que la sédimentation a pris un rythme plus tranquille dont la cause fondamentale n'a pu être clairement mise en évidence. Cependant, le résultat tangible de ce changement a été la prépondérance du mouvement de subsidence sur le remblayage détritique. Un lent mouvement de "transgression" s'est alors esquissé, combattu plus ou moins victorieusement, suivant leur débit, par les eaux douces. Les effets de cette lutte ne se sont nettement fait sentir d'une manière relativement continue que dans la série des "*Grès et marnes gris à gypse*". La preuve d'influences marines directes est d'autre part attestée par l'existence de certains fossiles. La seule présence d'ostracodes et de mollusques saumâtres, comme nous le savons, n'est pas un critère absolu pouvant garantir des connexions avec la mer. Cependant, les découvertes de restes de sélaciens, quant à elles, prouvent l'existence de passages vers la mer ouverte et ne peuvent être considérées comme les témoins d'une faune héritée des mers antérieures car, si tel était le cas, on en aurait également retrouvé des restes dans les séries antérieures à celle des "*Grès et marnes gris à gypse*".

Après ces épisodes à sédimentation relativement tranquille à caractère limnico-saumâtre, on assiste à un brutal retour de la sédimentation fluvio-terrestre représentée, dans notre périmètre d'investigations, par quelques affleurements dispersés de bancs de grès massifs et ravinants. Ce complexe gréseux, qui représente la base de l'Aquitanién, est connu sur le Plateau vaudois sous le nom de "Grès de Cuarny", "Grès d'Aclens" ou "Grès du Moulin de Clarmont" suivant les régions envisagées. Ces bancs de grès tracent ainsi la limite entre les séries stampiennes étudiées ici et le Miocène sus-jacent.

7. SEDIMENTOLOGIE

7.1 Epaisseur des bancs

7.1.1 Généralités

Possédant des données sur plusieurs coupes concernant des séries différentes, situées dans des régions diverses, il m'a semblé intéressant de tenter l'étude de la répartition des épaisseurs des bancs afin de voir si l'on pouvait en tirer des conclusions sédimentologiques. Pour chaque coupe, cet essai a été effectué en deux temps. Dans un premier temps, on a déterminé la répartition des épaisseurs des bancs pour chaque lithofaciès, dans un second temps, on a calculé la répartition des épaisseurs pour toute la coupe, indépendamment de la lithologie.

Ces travaux appellent naturellement quelques remarques et, parfois, des réserves certaines en ce qui concerne les résultats.

Le premier écueil à franchir, et il est de taille, est l'identification des bancs. En effet, à part les niveaux calcaires et quelquefois les minces lits d'argile, dont les surfaces inférieures

et supérieure sont généralement nettes, tous les autres types lithologiques peuvent passer graduellement des uns aux autres. La notion de banc devient alors très délicate. Bien que le concept de banc soit avant tout une notion liée à la lithologie, dans le cas des séries marneuses relativement homogènes, la subdivision en bancs a parfois été effectuée sur la base de changements dans la coloration. Pour les séries homogènes et sans variations de teintes tranchées, il a souvent été possible de déceler les bancs grâce aux niveaux palustres.

Comme nous l'avons vu tout au long de ce travail, la sédimentation molassique est caractérisée par une très grande variabilité latérale des lithologies. La répartition des bancs par lithologie peut donc dépendre de la façon dont sera levée une coupe. Si l'on veut obtenir des résultats se rapprochant le plus possible de la réalité, il faut s'efforcer de lever les coupes perpendiculairement à la stratification. Ceci correspond à effectuer les observations comme si, au cours du temps, on s'était trouvé en un point donné. En procédant d'une autre manière, on risque fort de fausser les rapports entre les différentes lithologies.

Le troisième point à soulever est celui de l'importance primordiale, à l'intérieur d'une série donnée, de la situation paléogéographique des coupes étudiées. Il est évident que celles placées près de l'axe des apports détritiques auront une répartition des lithologies et des épaisseurs très différentes de celles situées dans des zones écartées.

Ces quelques remarques faites, il me reste à souligner que ce n'est pas la première fois qu'un tel essai est tenté sur les séries molassiques. Ce genre d'étude avait, en effet, déjà été ébauché par FAVINI (1970). La réalisation de ce travail, que je ne veux pas reprendre ici en détail, était basée sur l'idée de découvrir s'il existait un lien entre la position stratigraphique et les caractéristiques sédimentologiques. Cependant, les conclusions de cet auteur ne doivent être prises en considération qu'avec une extrême prudence. En effet, les résultats de cette étude ont été obtenus à partir d'une méthode comportant plusieurs vices de forme.

Premièrement, la base de l'information statistique n'est pas fournie par un seul auteur ayant travaillé dans une optique statistique mais par neuf auteurs différents ayant chacun leur terminologie lithologique. Ces terminologies différentes sont basées tantôt sur des proportions chiffrées entre les divers constituants principaux, tantôt sur les seules observations de terrain et donc beaucoup plus subjectives. Pour diminuer un peu le risque d'erreur, FAVINI réduit le nombre des termes lithologiques à cinq, sans indiquer cependant les critères utilisés pour faire ces regroupements. Ce travail d'étude de la répartition des épaisseurs des bancs utilise même la planche IX de la monographie de RAMSEYER (1952) où, bien souvent, aucune limite nette n'est tracée entre les bancs puisqu'il s'agit de passages graduels et où l'échelle est du 1:200. On se demande comment il a été possible de mesurer les bancs de 5 cm figurant dans les classes d'épaisseur de FAVINI.

Enfin, ce travail ne tient pas compte de la répartition stratigraphique et géographique des coupes utilisées. Or, à l'intérieur d'une même série déjà, on observe de grosses différences suivant la position géographique des coupes. Par exemple, dans la série des "*Marnes rouges*", les lithofaciès gréseux sont nettement prédominants dans la région genevoise, tandis que dans la région d'Echallens ce sont plutôt les faciès argilo-marneux qui l'emportent.

7.1.2 Histogrammes

Les premiers essais de groupements ont été effectués à l'aide d'une subdivision en classes d'épaisseurs réparties suivant une progression arithmétique de raison 350 mm. Les résultats globaux obtenus pour 5 coupes sont donnés sous lettre a) aux figures 34, A, B, C, D et 35. Comme on le constate, toutes les courbes enveloppes sont plus ou moins fortement asymétriques et déjetées sur la gauche. Les répartitions ne sont donc pas normales.

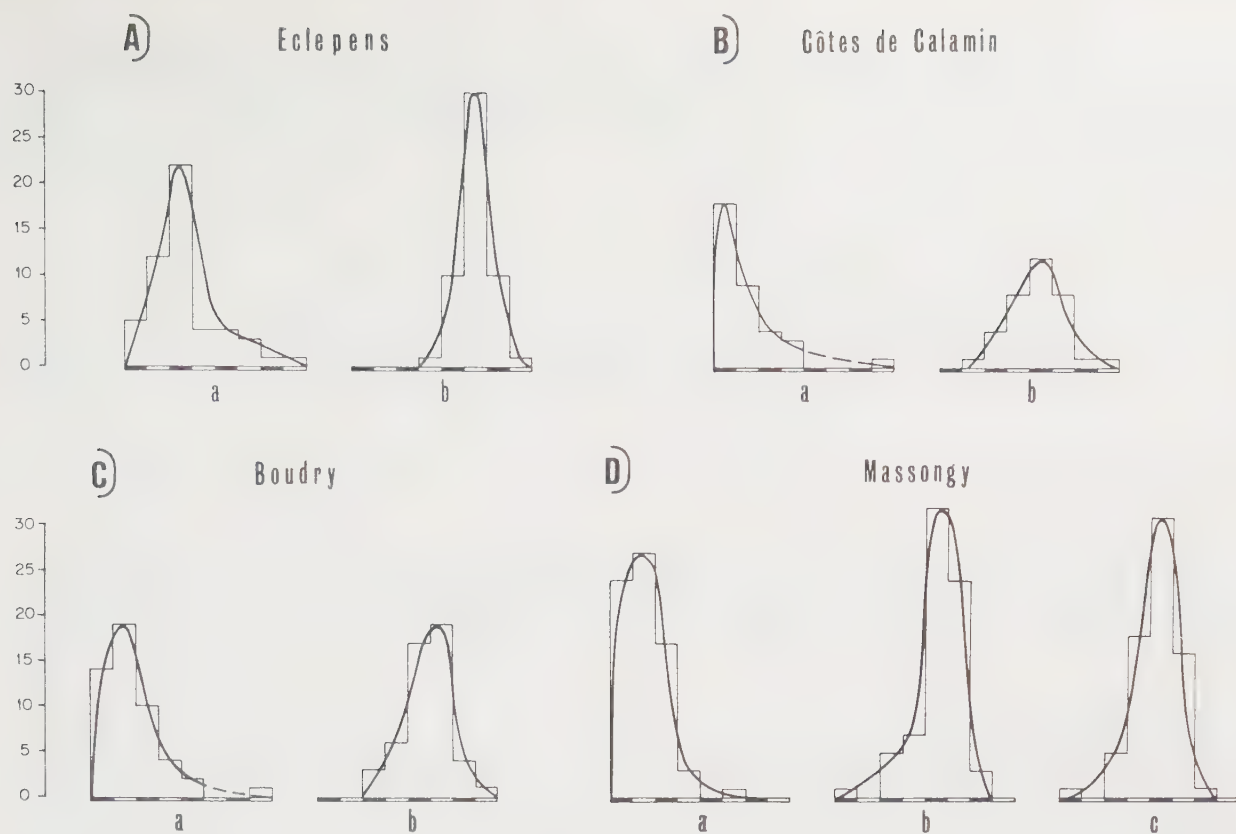


Figure 34 : Allures des histogrammes des épaisseurs des bancs suivant que la subdivision en classes d'épaisseurs suit une progression arithmétique ou géométrique.

Dans un second temps, en travaillant empiriquement, on a cherché à obtenir une courbe plus symétrique. On a obtenu les meilleurs résultats en utilisant une subdivision en classes d'épaisseurs réparties suivant une progression géométrique de raison 22 mm. Les classes ainsi obtenues sont les suivantes :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
0	22	48	106	235	515	1130	2500	5000 mm

La limite supérieure a été arrondie à 5 mètres par simplification, aucun banc n'ayant une épaisseur supérieure à 4,5 m. Les graphiques, lettre b) des figures A, B, C de la figure 34 démontrent clairement l'effet obtenu en passant de la subdivision en classes d'épaisseurs suivant une progression de raison arithmétique (a) à une raison géométrique (b).

Essertines

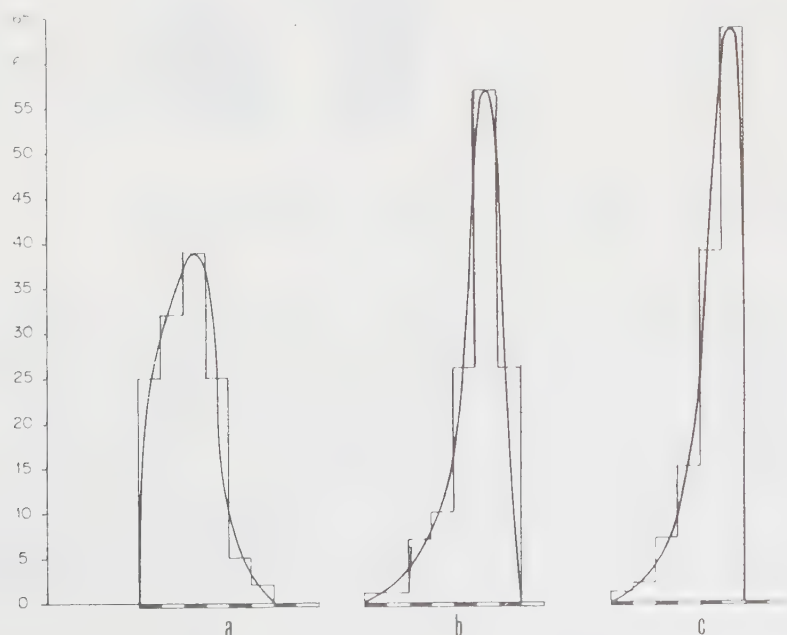


Figure 35 : Effets du choix de la subdivision en classes d'épaisseurs selon une progression arithmétique ou des progressions géométriques sur l'allure des histogrammes.

Pour certaines coupes cependant, la courbe obtenue, au lieu d'être relativement symétrique, est déjetée dans l'autre sens : lettre b), figures 34 D et 35. Dans ces cas, pour tenter d'obtenir une courbe plus symétrique, on a eu recours à une subdivision suivant une progression géométrique de raison plus grande, que l'on a fixée à 24 mm. Les classes ainsi définies sont les suivantes :

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0	24	58	138	332	796	1910	4586	9999

Comme on le constate sur la figure 34 D, c, le résultat obtenu est très satisfaisant dans le cas de la coupe de Massongy. Pour la coupe d'Essertines par contre, l'application de cette méthode a conduit a des résultats bien moins bons, figure 35 c).

7.1.3 Résultats et conclusions

On constate donc que les épaisseurs des bancs des séries molassiques se répartissent, dans l'ensemble, non pas d'une manière normale mais suivant des distributions géométriques de raisons diverses. L'une de ces dernières, celles de raison 22 mm a été choisie car, dans la plupart des cas, elle permet d'obtenir des courbes relativement symétriques.

Pour quelques coupes, avant de passer aux histogrammes dont les limites des classes suivent une progression géométrique, nous avons appliqué le test de Kolmogorov-Smirnov aux histogrammes aux limites de classes en progression arithmétique. Ce test est utilisé pour vérifier l'hypothèse que deux courbes des fréquences cumulées, établies à partir des histogrammes des fréquences, sont tirées de populations ayant la même distribution. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau de la figure 36 où, dans la colonne de gauche, les coupes utilisées sont placées dans un ordre stratigraphique approximatif. Les coupes d'Eclépens et Vermont appartiennent aux "Marnes

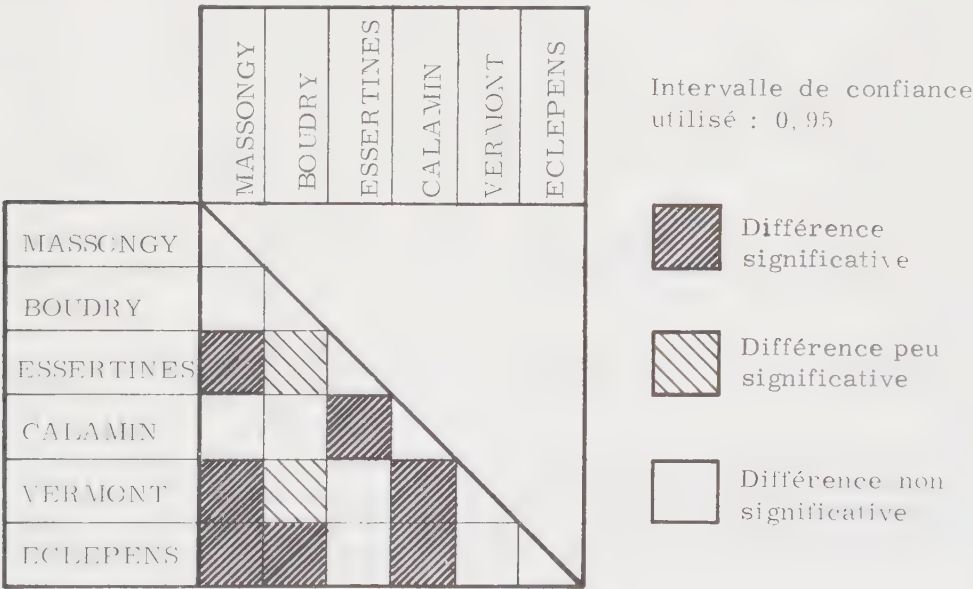


Figure 36 : Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV appliqué à la répartition des épaisseurs des bancs dans diverses séries du Stampien.

bariolées s.l.",celle de Calamin à la zone de passage du "Grès de Mathod" aux "Calcaires d'eau douce et de la dolomie", celle d'Essertines à la partie inférieure et moyenne des "Grès et marnes gris à gypse". Enfin, les coupes de Boudry et de Massongy appartiennent aux "Grès et marnes gris à gypse" et à la zone de passage à l'Aquitanien. L'interprétation de ces résultats est loin d'être immédiate. Si l'on conçoit facilement que la différence entre Calamin-Massongy-Boudry d'une part et Eclépens-Vermont d'autre part soit significative, on s'explique à première vue avec peine une différence significative entre Essertines et Massongy puisque ces deux coupes appartiennent aux deux extrémités de la même série. Cependant, il faut aussi tenir compte du fait que paléogéographiquement Essertines est une coupe située dans l'axe des apports détritiques tandis que Massongy en est très à l'écart. Ceci posé, on comprend un peu mieux que la différence entre Essertines et Eclépens-Vermont, qu'en logique stratigraphique on eût désiré significative, ne

le soit pas. Ces trois coupes, dont l'une appartient à une série et les deux autres à une autre série, ont probablement des distributions globales des fréquences relativement identiques car elles résultent de dépôts dans des conditions sédimentologiques voisines. Cependant, un examen des histogrammes par lithologie (pl. 30) fait immédiatement ressortir les différences essentielles entre ces deux groupes.

On conclut ainsi que, plus que la position stratigraphique, la situation géographique des coupes a une influence marquée sur la répartition globale des épaisseurs.

En ce qui concerne les répartitions suivant les lithologies (pl. 30), l'interprétation des histogrammes ne peut également se faire d'une manière intégrale que si l'on connaît la position géographique des coupes envisagées. En effet, si l'on considère le lithofaciès 4 par exemple, on remarque que pour les coupes d'Essertines et Belmont, situées dans la zone centrale des apports détritiques, l'histogramme est déjeté du côté des grosses épaisseurs, tandis que pour les coupes de La Morges et de Valeyres-sous-Rances, qui sont légèrement à l'écart, il est au contraire déjeté du côté des petites épaisseurs.

Malgré des différences souvent marquées au sein d'un type lithologique suivant la position géographique des coupes, on peut cependant tirer quelques traits généraux. Dans ce but, il a été regroupé, comme nous l'avons déjà fait quelquefois, les lithofaciès selon les trois grandes classes : sédiments gréseux, marneux et calcaires. Les résultats de ce regroupement sont présentés dans le tableau 9 ci-dessous; on consultera aussi, pour les détails, la planche 30.

CLASSES D'ÉPAISSEURS	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
GRES ET MARNES GRIS A GYPSE			3,0	5,5	22,5	34,5	30,5	4,0	LITHOFACIÈS 1 A 4 OU GRESEUX DOMINANTS
MARNES BARIOLEES S.L.				5,0	8,0	43,0	36,0	8,0	
GRES ET MARNES GRIS A GYPSE	2,0	0,5	3,5	9,0	30,0	41,0	14,0		LITHOFACIÈS 5 A 8 OU MARNEUX DOMINANTS
MARNES BARIOLEES S.L.			0,5	5,5	23,5	49,5	21,0		
GRES ET MARNES GRIS A GYPSE	1,5	14,5	22,5	20,0	25,0	14,5	2,0		LITHOFACIÈS 9 A 12 OU CALCAIRES DOMINANTS
MARNES BARIOLEES S.L.		3,0	16,5	32,5	35,5	6,5	3,0	3,0	

TABEAU 9

Il apparaît au premier coup d'oeil que, quels que soient les types de sédiments envisagés, les fréquences au sein des "Grès et marnes gris à gypse" sont décalées vers les petites épaisseurs par rapport à celles rencontrées dans les "Marnes bariolées s.l.". Mais, pour les lithofaciès 4 à 8 et quelle que soit la série envisagée, le maximum des fréquences se situe toujours dans la classe VI, c'est à dire dans la classe des épaisseurs comprises entre 515 et 1130 mm. Pour les lithofaciès 9 à 12, le maximum des fréquences se situe, quelle que soit la série, dans la classe V, c'est à dire dans la classe des épaisseurs comprises entre 235 et 515 mm.

Le groupe des lithofaciès 9 à 12 appelle d'autre part deux remarques en ce qui concerne les distributions des fréquences dans les "Grès et marnes gris à gypse". La première a trait au tableau 9 où se dessine, d'une façon peu marquée il est vrai, une distribution bi-modale. Ceci provient du fait que le maximum des fréquences du lithofaciès 11 est très marqué et se situe

dans la classe V, tandis que celui du lithofaciès 12 se place dans la classe III. La superposition de ces deux histogrammes conduit donc à une distribution bi-modale.

La seconde remarque, relative au lithofaciès 10, concerne la coupe de La Morges dont les histogrammes par lithofaciès sont donnés sur la planche 30. On constate que ce lithofaciès possède son maximum, représentant 57% des fréquences, dans la classe II et que le lithofaciès 8 présente une distribution bi-modale dont un des maxima se situe dans la classe I. Ce phénomène ne se retrouve dans aucune des autres coupes envisagées et résulte de l'allure très plaquetée des sédiments, reflétant les conditions de sédimentation particulières réalisées dans cette série au cours du dépôt des "*Grès et marnes gris à gypse*". Cette allure plaquetée des sédiments ressort nettement sur les coupes données aux planches 25 et 27.

En conclusion, on constate que les répartitions des épaisseurs des bancs, aussi bien globales que par lithofaciès, sont conditionnées plus par la position paléogéographique que par la position stratigraphique des coupes.

7.2 Couleurs

7.2.1 Généralités

J'ai déjà mentionné, au chapitre 4.6, que pour éviter autant que possible, lors de la description des sédiments, l'effet de facteurs purement subjectifs sur la nomenclature des couleurs, j'ai préféré procéder par comparaison. A cet effet, j'ai utilisé une carte des principales couleurs rencontrées dans les séries molassiques. La nomenclature, ainsi que le mode de notation des couleurs sont donnés à la page 9.

7.2.2 Diagramme de répartition des couleurs

Etant en possession de nombreuses données, recueillies d'une façon identique, j'ai tenté de comparer les répartitions des fréquences des couleurs dans diverses coupes. Les résultats obtenus figurent sur la planche 31.

Les coupes utilisées se répartissent stratigraphiquement de la manière suivante :

A	Partie tout à fait supérieure des " <i>Grès et marnes gris à gypse</i> "
B,C,D et E	Série des " <i>Grès et marnes gris à gypse</i> "
F et G	Série des " <i>Calcaires d'eau douce et de la dolomie</i> "
H	Zone de passage du " <i>Grès de Mathod</i> " aux " <i>Calcaires d'eau douce et dolomie</i> "
I,J et K	Série des " <i>Marnes bariolées s.l.</i> "

Comme nous l'avons déjà noté lors de l'étude de la répartition des épaisseurs des bancs, les répartitions des fréquences des couleurs sont nettement influencées par la position géographique des coupes envisagées. Même si l'on ne tient compte que des coupes situées dans la zone centrale, de C à K, on s'aperçoit que les coupes D et E, par exemple, ont des répartitions plus voisines que ne l'ont C et D. Or, du point de vue stratigraphique, C et D représentent des données intéressantes l'ensemble des "*Grès et marnes gris à gypse*" tandis que E ne reflète que les résultats obtenus sur la base de cette même série. Cependant, du point de vue géographique, les coupes D et E sont distantes de moins de 3 km l'une de l'autre alors que C est située à plus de 25 km des coupes D et E.

Toutefois, si l'on prolonge, dans le diagramme des couleurs, la séparation entre les secteurs 6 et 7 dans le secteur 2, on trace ainsi un diamètre imaginaire divisant le diagramme en deux hémicycles. On s'aperçoit alors que toutes les coupes antérieures au "*Grès de Mathod*" (I,J,K) présentent une prédominance très nette des fréquences des couleurs dans l'hémicycle SE, tandis que les autres coupes ont leurs fréquences soit prédominantes dans l'hémicycle NW, soit équilibrées entre les deux. D'autre part, dans les coupes postérieures au "*Grès de Mathod*", les fréquences de la couleur 6 (lie-de-vin) sont nulles ou quasi nulles sauf dans celle de Boudry qui subit des apports provenant des parties exondées du Jura (remaniement du Sidérolithique, oxydation des minéraux ferrugineux...).

Une étude plus poussée de la distribution des couleurs du point de vue statistique n'est pas possible avec les données en notre possession. Si elle était envisagée, elle nécessiterait une collecte des informations plus rigoureuse et détaillée.

7.3 Séquences et cycles

7.3.1 Généralités

En plus des analyses stratigraphiques classiques, de nombreux auteurs ont cherché à percer, d'abord d'une manière un peu empirique puis en s'appuyant sur les statistiques, le mystère de succession des termes lithologiques au sein des séries géologiques. Ainsi, LOMBARD (1956, pp. 266 et suiv.) faisant la synthèse de nombreuses observations éparses principalement tirées de la littérature, introduit les termes de séquence fondamentale, série virtuelle générale, série virtuelle locale et série naturelle. D'autres chercheurs ont poursuivi les investigations dans cette voie en utilisant tout un arsenal de techniques statistiques. Parmi ces dernières on peut citer les chaînes de Markov et l'analyse des séries temporelles par l'étude du pouvoir spectral. Toutes ces techniques nécessitent cependant une somme de données importante, une connaissance approfondie des statistiques pour la conduite des opérations ainsi que pour l'interprétation et requièrent très souvent l'usage d'un ordinateur.

La méthode des chaînes de Markov permet, à l'aide des valeurs de χ^2 , de tester les hypothèses suivant lesquelles les séquences sont le fruit du hasard (c'est à dire dues à un phénomène aléatoire) ou suivent une "loi markovienne" (c'est à dire obéissent à un phénomène de "mémoire"). Les études basées sur les analyses des séries temporelles ou sur l'analyse du pouvoir spectral fournissent des indications sur la périodicité et la longueur d'onde des séries envisagées.

Si, grâce aux programmes établis par Monsieur E. DAVAUD du Département de Géologie de l'Université de Genève, j'ai eu quelquefois recours à l'ordinateur, ce n'était que pour éviter des calculs longs et fastidieux et non pas pour trouver la solution d'un problème géologique. En effet, le sujet de cette étude d'une part et mes connaissances statistiques d'autre part, ne permettaient pas de me livrer à des recherches statistiques poussées.

Il existe heureusement des méthodes plus simples permettant de soulever partiellement le voile recouvrant les mécanismes de succession des termes lithologiques. Dans cet ordre d'idée, je citerai le travail de SELLEY (1970) duquel j'ai tiré de nombreux renseignements.

7.3.2 Méthodes et définitions

L'étude des successions des lithofaciès dans une série dépend en grande partie de la variété de cette série. Cette dernière est d'autant plus variée qu'elle contient des faciès pétrographiques divers. En effet, une série ne comportant que des grès et des schistes est moins variée qu'une série contenant des calcaires, des schistes et des grès. La première aura donc une variété de 2, la seconde de 3. Cependant, ce concept, à lui seul, n'est pas suffisant et il faudrait lui adjoindre une autre notion quantitative. Une série de variété 2 où alternent dans un ordre quelconque des grès et des argiles est évidemment plus variée qu'une énorme série constituée de grès avec un banc calcaire au sommet et un banc de marne à la base. Ces notions ont été développées dans certaines études statistiques poussées, mais elles n'ont pas lieu d'être utilisées ici.

La méthode présentée ici consiste à construire une grille dans les cases de laquelle figurent les nombres de fois qu'un lithotype succède à un autre lithotype ou à lui-même. Ces successions sont appelées transitions et la grille dans laquelle elles figurent peut être établie de deux manières. Soit on considère le banc comme unité, ce qui est très pratique mais nous ne savons si c'est bien exact, soit on choisit une unité linéaire. Ce dernier choix pose alors de très nombreux problèmes. Tout d'abord cela laisse supposer que la vitesse de sédimentation est uniforme quel que soit le lithotype considéré, ce qui est faux. On pourrait alors peut-être essayer de pondérer chaque banc par son taux de sédimentation. Cette solution serait fort élégante mais, hélas, très théorique puisque nous ne possédons guère de données sur les taux de sédimentation de toutes les lithologies. Si l'on fait abstraction des différents taux de sédimentation et que l'on se tient à un intervalle d'échantillonnage fixe, on se heurte alors au problème de la valeur à donner à cet intervalle. En effet, si ce dernier est trop faible, les bancs épais vont être échantillonnés un trop grand nombre de fois. Au contraire, si l'intervalle choisi est trop grand, les lithotypes n'apparaissant qu'en bancs minces vont être échantillonnés un nombre insuffisant de fois ou même être complètement omis.

Dans ce travail, j'ai opté pour la première méthode, c'est à dire que j'ai noté les superpositions des lithotypes en prenant le banc comme unité. Cette façon de faire me paraît plus naturelle et présente le grand avantage d'être parfaitement reproductible, puisqu'il n'est pas besoin de connaître l'intervalle arbitraire choisi par tel ou tel auteur si l'on veut comparer plusieurs travaux. Elle est aussi plus naturelle en ce sens que, dans les études de paléosédimentation, elle reflète les changements de lithologie, donc d'environnement, plutôt que les épaisseurs relatives. En effet, les résultats obtenus en utilisant lors de l'échantillonnage un intervalle fixe, concernent surtout les épaisseurs relatives des divers lithotypes, ce qui masque souvent les séquences que l'on espérait découvrir.

Avant d'illustrer par un exemple simple les variations d'interprétation auxquelles on aboutit suivant la méthode utilisée, il me semble préférable de présenter la façon de procéder.

La grille des transitions est construite en inscrivant aux sommets des colonnes et à gauche de chaque ligne les différents lithotypes reconnus (fig. 37). Les chiffres rencontrés dans chaque colonne représentent le nombre de fois que le lithotype indiqué au sommet de la colonne se superpose aux lithologies indiquées dans les lignes horizontales. Il s'agit donc des transitions observées et nous appellerons cette grille : *Matrice des transitions brutes*. Les sommes de chaque ligne, ou colonne, correspondent aux nombres des bancs des diverses lithologies et la somme des totaux des lignes, ou colonnes, donne le nombre de bancs présents dans la coupe. La matrice des transitions brutes nous permet d'entrevoir l'importance respective des diverses transitions. Grâce à elle on peut aussi construire un diagramme où figurent les relations entre les transitions les plus importantes (voir fig. 37). Ce diagramme présente donc les transitions verticales les plus probables que l'on puisse rencontrer dans une série donnée et permet de déterminer l'existence de séquences ou de cycles.

Si maintenant on considère la sédimentation d'une manière générale, il apparaît que la probabilité qu'un lithotype surmonte un autre lithotype est régie par deux facteurs principaux : sa fréquence et son arrangement vertical au sein de la série. Il ne suffit évidemment pas à un lithotype, pour entrer dans des séquences, d'être très fréquent. S'il est confiné dans une partie de la série et que ses bancs se superposent sans être interstratifiés avec d'autres lithologies, il a fort peu de chances de constituer un des termes d'un cycle. Si l'allure de la sédimentation est plus variée, il est évident que les lithologies les plus fréquentes auront le plus de chance de figurer dans un cycle ou une séquence.

Un autre stade de l'étude peut nous conduire à envisager une répartition des lithologies tout à fait aléatoire, c'est à dire que l'on suppose que le hasard seul rentre en ligne de compte dans l'élaboration d'une série sédimentaire. En posant cette hypothèse, on est à même de prédire le nombre de transitions de chaque lithotype avec les autres lithotypes de la série envisagée. Ainsi, si l'on considère les lithologies G (grès) et S (silt) d'une coupe, on peut établir la probabilité T, c'est à dire prédire le nombre de fois que G surmontera S en posant :

$$T = \frac{f_1 \cdot f_c}{N}$$

où T est le nombre de transitions attendues,

f_1 = le nombre de fois que S est surmonté par une lithologie,
ou total de ligne,

f_c = le nombre de fois que G surmonte une lithologie, ou total
de colonne.

N = nombre total de transitions observées.

Si l'on se rapporte à l'exemple de la figure 37 en admettant un échantillonnage banc à banc, on a : $T = \frac{15 \cdot 19}{49} = 6$.

De cette manière on est à même de construire une grille où figureront les nombres de transitions devant se produire au cas où la sédimentation serait le fruit du hasard. Nous appellerons cette grille : *Matrice des transitions au hasard*.

Il peut être fort instructif d'examiner non pas seulement le nombre des transitions les plus fréquentes mais celles qui se produisent plus fréquemment que si l'arrangement des lithotypes était dû au jeu du seul hasard. Pour ce faire, il suffit de soustraire de la matrice des transitions brutes la matrice des transitions au hasard. La grille résultante ainsi obtenue se nomme : *Matrice des différences* ou *Matrice des transitions résiduelles*. Les chiffres représentant les

nombres des transitions résiduelles sont affectés des signes + ou - suivant qu'ils représentent des transitions plus ou moins fréquentes par rapport à une répartition purement aléatoire. On peut alors construire un nouveau diagramme où figurent les transitions se réalisant plus fréquemment que ce que l'on pouvait prévoir. Il est bien entendu que dans ce dernier diagramme ne figureront que les transitions ayant un fort excédent de fréquence. Il est ainsi possible de détecter des séquences, voire des cycles, qui sans ce stratagème resteraient peu ou pas décelables. Ainsi, dans l'exemple donné à la figure 37 A, les transitions les plus fréquentes permettent de mettre en évidence la séquence silt→ grès→ silt, éventuellement schiste→ silt→ grès→ silt. Si l'on consulte la matrice des différences, on peut alors tout de suite mettre en évidence le "cycle" : Charbon→ Schiste→ Silt→ Grès→ Charbon.

Après avoir exposé le cheminement utilisé dans cette étude, il me reste à justifier le choix de la méthode employée. Pour ce faire, on se reportera à la figure 37 où sont rassemblés les divers éléments de cette discussion. La coupe utilisée pour cet exemple est celle donnée par SELLEY (1970,fig. 1).

Dans la colonne A, l'étude est basée sur un échantillonnage banc à banc. La matrice des transitions brutes (a) permet de déceler une séquence principale Silt→ Grès→ Silt très nette et deux séquences accessoires qui sont Schiste→ Silt→ Grès→ Grès et Silt→ Grès→ Charbon→ Schiste. Sans étude plus poussée, il est impossible de déterminer laquelle des transitions Grès-Grès, Grès-Schiste ou Grès-Charbon est la plus importante puisqu'elles se produisent toutes trois, 4 fois. En calculant la matrice des transitions au hasard (b) et en la soustrayant de celle des transitions brutes, on obtient la matrice des différences (c). Cette dernière confirme d'abord l'influence prépondérante de la transition Silt-Grès dans la sédimentation mais permet aussi immédiatement de constater que seule la séquence Silt-Grès-Charbon-Schiste-Silt, véritable cyclothème, a une importance dans cette série.

Dans les colonnes B et C l'étude a été basée sur un échantillonnage à intervalle constant.

En B, l'intervalle choisi est de 25 cm et il conduit à l'apparition de nouvelles séquences. La matrice des transitions brutes (a) fait en effet ressortir trois séquences principales plus ou moins fortement liées entre elles. Ce sont, par ordre d'importance, les suivantes :

Grès→ Grès
 Silt→ Silt
 Schiste→ Schiste. Le Charbon quant à lui n'entre dans aucune

séquence. On se rend immédiatement compte que ces trois séquences sont artificielles et proviennent du mode d'échantillonnage choisi. En effet, le nombre de transitions Grès-Silt est le même que dans le cas d'un écahtillonnage banc à banc tandis que la transition Grès-Grès est presque 20 fois plus importante. On a donc non pas une représentation des transitions majeures, mais des épaisseurs relatives. Ce phénomène est clairement démontré dans le tableau 10. Les chiffres indiqués dans les colonnes 2 et 4 sont très voisins et prouvent que la matrice des transitions brute n'est que le reflet des épaisseurs relatives des différents lithofaciès et ne traduit en rien les relations sédimentologiques existant entre eux. C'est un bien maigre résultat et il existe, semble-t-il, des façons moins détournées pour calculer les épaisseurs relatives!

	EPAISSEUR DES LITHOFACIES EN M.	EPAISSEURS RELATIVES	NOMBRE DE TRANSITIONS	IMPORTANCES RELATIVES DES TRANSITIONS
GRES	21,35	57,7	89	59,7
SILT	8,75	23,6	34	22,8
SCHISTE	5,5	14,9	20	13,5
CHARBON	1,4	3,8	6	4,0
TOTAUX	37,0	100	149	100

TABLEAU 10

D) Echantillonnage basé sur les changements de lithotypes

C) Intervalle 50 cm

B) Intervalle 25 cm

A) Echantillonnage banc à banc

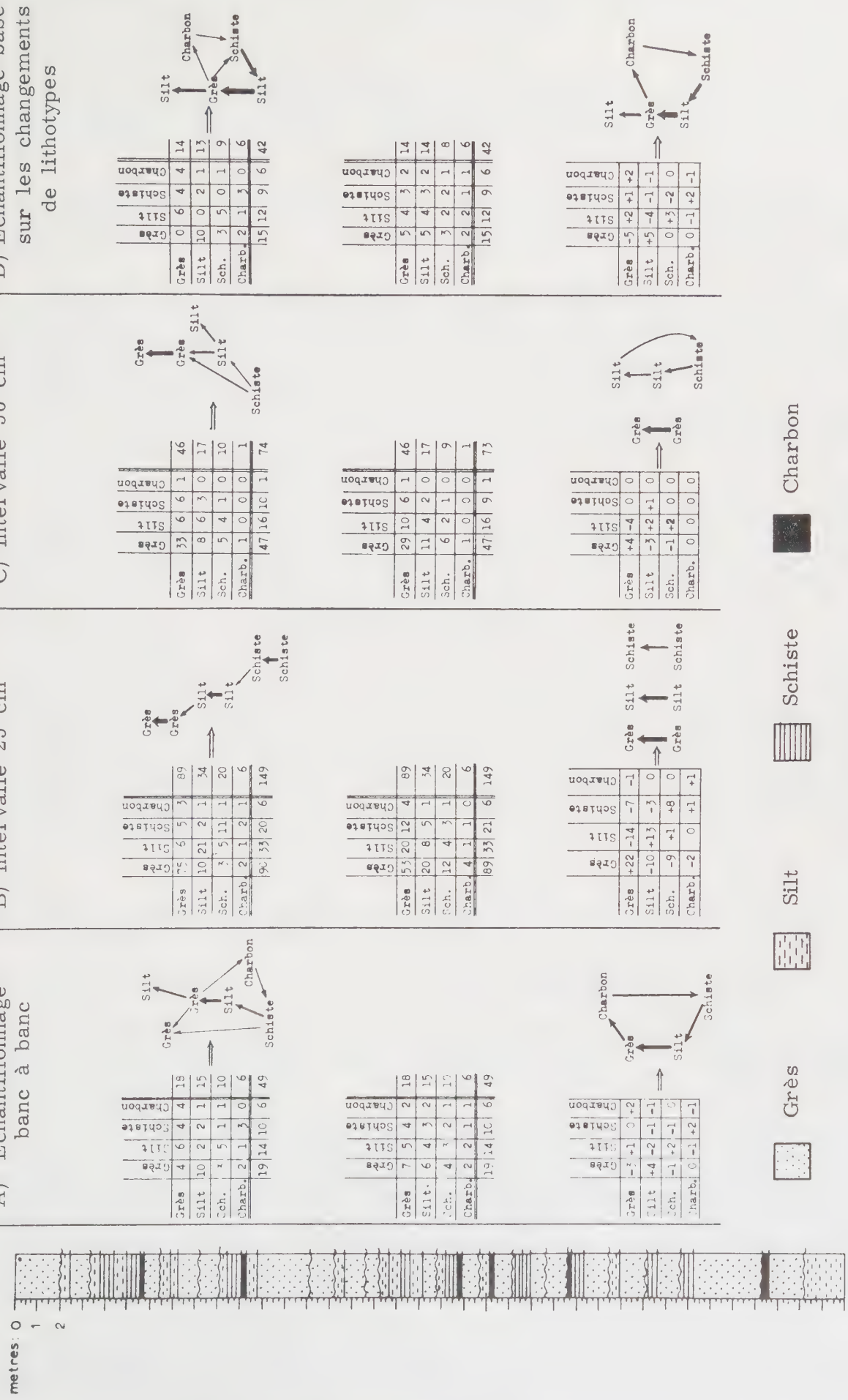


Figure 37 : Influence du mode d'échantillonnage sur les résultats obtenus par la méthode des "Matrices des transitions". Coupe hypothétique dans une série à charbon. (R. C. SELLEY, 1970)

La matrice des différences accentue encore la dissemblance avec la réalité puisqu'elle oblitère même les relations entre les diverses séquences et que chaque type lithologique est censé se superposer à lui-même,

En C, l'intervalle choisi est de 50 cm et donne lieu à une répartition différente des diverses séquences.

Les bancs de grès ayant une épaisseur moyenne de près de 1,20 m sont toujours affectées par un sur-échantillonnage qui conduit à l'apparition de la séquence Grès-Grès. On a encore la séquence Silt-Silt, mais la séquence Schiste-Schiste a disparu. En plus des transitions Schiste-Silt et Silt-Grès, déjà visibles en B, il apparaît la transition Schiste-Grès.

L'établissement de la matrice des différences conduit à nouveau à un résultat peu naturel puisqu'elle permet d'établir que les seules séquences importantes sont représentées par la transition Grès-Grès d'une part et par la séquence Schiste-Silt-Silt (éventuellement suivie de Schiste) d'autre part.

En plus de ces deux exemples où l'intervalle d'échantillonnage était fixe, j'ai essayé de faire un échantillonnage tous les mètres. Les résultats sont encore plus aberrants puisque la matrice des transitions brutes ne laisse subsister que la transition Grès-Grès, non naturelle, et la matrice des différences ne donne aucune transition comme différant significativement d'un processus aléatoire, les 75% des cases contenant un zéro.

En D, j'ai fondé l'étude sur un échantillonnage basé sur les changements de lithofaciès. C'est un peu le résultat que l'on pourrait obtenir en sondage où, à moins d'effectuer un carottage continu, il est impossible d'individualiser les bancs.

La matrice des transitions brutes comporte évidemment des zéros dans la diagonale concernant la superposition des lithofaciès à eux-mêmes puisque ces transitions sont invisibles du fait du mode d'échantillonnage envisagé. Cette matrice donne cependant une séquence principale Schiste-Silt-Grès-Silt aussi bien marquée que dans le cas d'un échantillonnage banc à banc et indique aussi nettement le cycle Silt-Grès-Charbon-Schiste-Silt.

La matrice des différences confirme l'existence de ce cycle et lui adjoint une transition adventive Grès-Silt.

Après avoir effectué, sur des séries molassiques, des essais semblables à ceux présentés ici et avoir obtenu des résultats concordants, il est possible de tirer les conclusions suivantes : la méthode des matrices des transitions, appliquée à l'étude des séries détritiques de type deltaïque et fluviatile, permet de mettre en évidence des séquences, voire des cycles sédimentologiques, pour autant que l'échantillonnage se fasse banc par banc. Cette méthode peut aussi donner des résultats cohérents si, lorsque l'individualisation des bancs est impossible, l'échantillonnage est effectué en tenant compte uniquement des changements de lithofaciès.

7.3.3 Méthode des matrices des transitions appliquée à l'étude des séries stampiennes

Dans notre cas, l'étude des séries molassiques a été entreprise en utilisant la méthode d'échantillonnage banc à banc. Les résultats obtenus figurent sur la planche 32.

Pour la série des "*Marnes bariolées s.l.*", vu le peu de coupes complètes, j'ai utilisé les données recueillies dans trois coupes distinctes (planche 32, D). La séquence finale résulte de la combinaison de la séquence 6→8→8→7, observée à Eclépens, et de la séquence principale 4→6, observée à Valeyres-sous-Rances.

La série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*" affleurant d'une façon relativement continue dans le lit du Buron, sous Essertines, il a été facile d'échantillonner plusieurs coupes distantes de quelques dizaines de mètres les unes des autres. Si l'on n'examine que la matrice des transitions brutes, on pourrait penser que seules les séquences vraiment importantes sont 12→12 et 12→8. Or, la matrice des différences montre qu'en fait la transition 12→12 se produit moins souvent que si la sédimentation suivait une loi purement aléatoire. Par contre, la transition 12→8, elle, montre un fort excédent de fréquences. Il est en outre possible de déterminer que la transition 12→8 fait partie d'une séquence de cinq termes (pl. 32, C) qui s'écrit : 7→11→12→8→12.

La série des "*Grès et marnes gris à gypse*", qui affleure en de nombreux endroits, a permis de faire des comparaisons. Ces dernières permettent de confirmer que, comme pour les autres études sédimentologiques, les résultats sont fortement conditionnés par la position paléogéographique

et que la méthode des matrices des transitions ne permet d'établir que des séquences à valeur purement locale. Ainsi, pour cette série, on comparera les résultats obtenus sur deux coupes situées dans des zones paléogéographiques différentes. Ce sont d'une part la coupe d'Essertines, située près de l'axe des apports détritiques (pl. 32, A), et d'autre part la coupe de Boudry, localisée au pied du Jura et partiellement à l'écart des apports détritiques directs (pl.32,B).

Dans le cas d'Essertines, la matrice des transitions brutes donne comme séquence principale 11 (ou 12)→8→8→6 où 8→6 est la plus forte transition. La matrice des différences montre que la transition 8→8 est sensiblement moins fréquente que ce qu'elle devrait être et que la transition 8→6, elle, est fortement positive. L'ensemble des données permet d'établir la séquence locale suivante :

10→8→6→11→12→12, ainsi qu'une séquence un peu moins importante qui s'écrit :

10→8→6→4→12.

A Boudry, l'opposition entre les résultats obtenus par la matrice des transitions brutes et la matrice des différences est des plus nettes. La première donne comme suite des lithofaciès la séquence suivante : 6→8→8→7→8.

La matrice des différences, par contre, indique très nettement que la transition 8→8 est bien moins fréquente que ce qu'elle devrait être si la sédimentation était régie par le hasard seul et que la séquence locale fait apparaître d'autres transitions. On a en effet : 6→8→12→7→7 ou 11→8→12→7→7. Cependant, la transition initiale 6→8 est nettement plus forte que 11→8.

Ces deux exemples font donc bien ressortir l'interdépendance étroite liant les résultats à la position paléogéographique. En effet, les séquences obtenues dans la région d'Essertines comportent les lithofaciès 4, 6 et 10 qui sont caractérisés par une proportion notable de détritiques, tandis que dans la région de Boudry n'apparaît que le lithofaciès 6.

Le dernier exemple choisi pour démontrer l'utilité de la méthode, bien que pris en dehors du périmètre d'étude, concerne lui aussi les séries stampiennes du bassin molassique (pl. 32, E). Il s'agit de coupes levées dans la "Molasse à charbon" qui est, comme nous l'avons vu, probablement équivalente à la série des "Calcaires d'eau douce et dolomie" ainsi qu'à l'extrême base des "Grès et marnes gris à gypse". Les coupes utilisées sont tirées de la planche de l'excellent travail de BERSIER (1945). Les équivalences entre les lithofaciès utilisés par cet auteur et ceux proposés dans ce travail sont les suivantes :

Nomenclature de A. BERSIER (1945)	Nomenclature utilisée dans ce travail	Numéro des lithofaciès
Molasse (Grès calcaire)	Grès calcaire	3
Macigno (Grès argilo-calcaire)	Grès marneux	4
Marne macigneuse	Argile calcaréo-gréseuse	5
Marne dure	Marne argileuse	6
Marne mi-dure		
Marne tendre		
Argile plastique	Argile	7
Marno-calcaire	Calcaire marneux	11
Calcaire d'eau douce	Calcaire	12

Il faut ajouter à cette liste deux faciès particuliers dont la détermination n'est pas basée sur les proportions respectives en Sable, Argile et Calcaire, ce sont :

- les Niveaux palustres et
- le Charbon.

La matrice des différences permet d'obtenir deux séquences principales. La première est :

6→8→3→4→8, où la transition 6→8 étant la plus faible, il est possible de la supprimer et l'on obtient alors le cycle : 8→3→4→8.

La seconde, très intéressante puisqu'elle fait intervenir les niveaux palustres et le charbon, a l'allure suivante :

8→3→N. palustre→Charbon→12→7→12.

La transition 7→12 peut quelquefois être remplacée par la transition 7→8, un peu moins forte, mais qui conduit à la création d'un cycle.

7.3.4 Conclusions

La méthode des matrices des transitions permet de déceler, dans une série sédimentaire suffisamment longue, la présence éventuelle de séquences, voire de cycles. Ces résultats n'ont qu'une importance très locale et ne peuvent en aucun cas présenter un quelconque intérêt stratigraphique. Leur signification sédimentologique, par contre, est considérable. En effet, cette méthode, lorsqu'elle est utilisée avec clairvoyance avec d'autres résultats sédimentologiques, permet d'inférer sur le mode de dépôt des sédiments. Dans notre cas, par exemple, la série des "*Marnes bariolées s.l.*" (pl. 32, D), dont la séquence se cantonne dans les lithofaciès détritico-argileux très peu calcaires, reflète une sédimentation fluvio-terrestre.

La série des "*Calcaires d'eau douce et de la dolomie*" (pl. 32, C), dont la séquence est limitée aux lithofaciès argilo-calcaires, témoigne d'une sédimentation lacustre.

Enfin, les "*Grès et marnes gris à gypse*" (pl. 32, A,B), dont les séquences contiennent, en plus des termes argilo-calcaires, un nombre plus ou moins élevé de lithotypes gréseux, reflètent une sédimentation fluvio-lacustre ou fluvio-lagunaire.

8. CONCLUSIONS

Les sédiments tertiaires de l'extrémité occidentale du bassin molassique suisse sont constitués de formations continentales très lenticulaires, relativement pauvres en fossiles. Ces deux dernières caractéristiques conjuguées sont responsables de la multiplicité des échelles lithostratigraphiques à valeur purement locale.

Le but principal du travail présenté ici était, en détruisant le mythe de la stérilité des séries molassiques, d'établir une biostratigraphie à valeur générale.

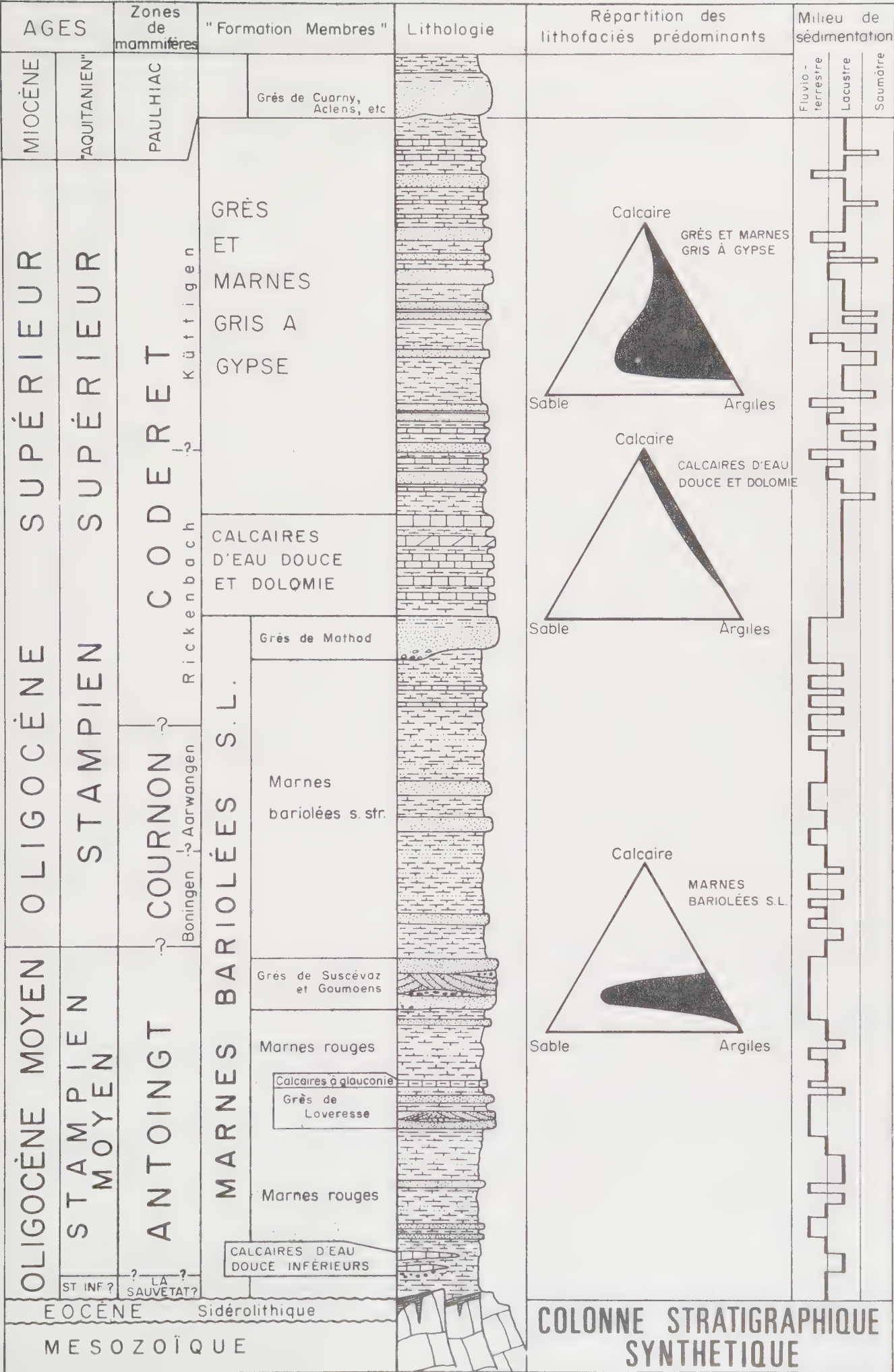
Un autre objectif important consistait à essayer de caractériser ces différentes séries à l'aide de critères pétrographiques et sédimentologiques.

Enfin, l'ensemble des résultats devait permettre de tirer des conclusions paléoécologiques et sédimentologiques.

8.1 Paléontologie et stratigraphie

D'opiniâtres recherches m'ont permis de découvrir des fossiles dans toutes les coupes levées. Les principaux genres et espèces rencontrés appartiennent aux :

Poissons
Reptiles
Mammifères
Ostracodes
Gastéropodes
Lamellibranches
Foraminifères
Charophytes.



Parmi les groupes représentés ici, tous n'ont pas une importance identique pour la stratigraphie. Le plus important d'entre eux est celui des mammifères, plus particulièrement les rongeurs. Les charophytes m'ont également été utiles bien que leurs extensions soient beaucoup plus grandes que celles des rongeurs.

Les ostracodes sont communs. Si la signification biostratigraphique des espèces présentes est fort restreinte, il n'en est pas de même du point de vue paléoécologique.

Les mollusques rencontrés n'ont qu'une valeur écologique tandis que les foraminifères, bien que principalement utilisés pour la paléoécologie, ont parfois fourni d'utiles indications stratigraphiques.

La série étudiée, dont les subdivisions stratigraphiques sont indiquées sur la figure 38, est attribuée à la partie supérieure de l'Oligocène moyen et à l'Oligocène supérieur. Il a été possible, grâce aux mammifères, d'individualiser les zones mammologiques d'Antoingt, de Cournon et de Coderet. L'extrême base de la série n'a pu être datée. Cependant, par comparaison avec des sédiments d'allure et de position relative identique affleurant dans la région de Soleure, on peut penser qu'elle correspond à la partie supérieure de la zone de La Sauvetat. Il est à noter qu'aucune des trois formations principales, individualisées du point de vue sédimentologique, ne correspond exactement à une zone ou un ensemble de sous-zone mammologique.

8.2 Sédimentologie et écologie

Afin de garder une certaine homogénéité dans la description des diverses coupes que j'ai levées, la détermination du type lithologique de chaque banc a été effectuée en laboratoire. La nomenclature utilisée, qui conduit à la définition de 12 lithofaciès types, est basée sur la subdivision d'un diagramme triangulaire dont les trois sommets correspondent aux constituants principaux : Sable, Argiles et Calcaire. Pour chaque banc, les pourcentages des constituants principaux sont portés dans le diagramme triangulaire où ils définissent un point, ce dernier détermine alors le type lithologique du banc. L'ensemble des points reflète la répartition des lithofaciès dans la coupe ou la formation considérée. Grâce à cette méthode il a été possible de définir trois formations principales caractérisées par des répartition nettement différentes des lithofaciès prédominants. Ces trois formations sont, de bas en haut, les "*Marnes bariolées s.l.*", les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" et les "*Grès et marnes gris à gypse*". Il faut cependant souligner que les conclusions sédimentologiques relatives aux "*Marnes bariolées s.l.*" sont basées presque exclusivement sur des observations effectuées sur des coupes proches du Jura. Il est fort probable que l'étude détaillée de cette série plus au S, grâce notamment à des sondages, modifierait sensiblement mon interprétation.

Les données fournies par les fossiles ont en outre permis de constater que ces trois formations s'individualisent aussi fort bien du point de vue écologique. Les "*Marnes bariolées s.l.*" sont caractérisées par une sédimentation fluvio-terrestre à lacustre, les "*Calcaires d'eau douce et dolomie*" résultent presque exclusivement d'une sédimentation lacustre et les "*Grès et marnes gris à gypse*" témoignent de fréquentes influences saumâtres au sein de sédiments lacustres et fluvio-terrestres.

J'ai également tenté de déterminer si ces formations pouvaient être plus finement subdivisées grâce à des méthodes purement sédimentologiques. A cette fin j'ai étudié les répartitions des épaisseurs des bancs, soit globales, soit par lithofaciès, les répartitions des couleurs et j'ai utilisé la méthode des matrices des transitions. Or, il s'est avéré qu'à l'intérieur d'une même série, les variations sont parfois plus importantes horizontalement que verticalement par rapport au reste de la formation. En effet, le facteur essentiel de différenciation n'est pas l'âge mais la position paléogéographique. Il est donc impossible de subdiviser les formations principales au moyen de critères uniquement sédimentologiques.

En guise d'épilogue, on peut donc conclure que ce sont les méthodes stratigraphiques classiques, étayées d'une nomenclature lithologique cohérente, qui ont livré les résultats les plus significatifs pour la subdivision des séries molassiques oligocènes.

- AHR, W.M. (1969) Paleoenvironment, Algal structures, and Fossil Algae in Upper Cambrian of Central Texas. AAPG Bull., 53/3, p. 703-704.
- ALTHAUS, H.E. (1947) Ueber geologische Untersuchungen im Gebiet der Ölführenden Molasse im Kanton Genf. Beitr. Geol. Schw., Geotechn. Ser., Lief. 26, I, pp.19-43, 8 fig., 1 carte.
- ALTHAUS, H.E. (1947) Die Ölführende Molasse zwischen Genfer-und Neuenburger See. Beitr. Geol. Schw., Geotechn. Ser., 26. Lief., I, pp.1-18, 2 fig., 1 carte.
- ALVINERIE, J., CARALP, M., MOYES, J. et VIGNEAUX, M. (1964) Considérations sur la limite Oligo-Miocène dans le Nord du bassin aquitain. In "Colloque sur le Paléogène", Bordeaux, 1962. Mém. B.R.G.M., 23, pp. 391-315, 4 pl.
- APOSTOLESU, V. (1968) Reconstitution des conditions de sédimentation et des milieux de dépôt par les données sédimentologiques et paléobionomiques conjuguées. Exemple de l'Eocène-Oligocène de Forcalquier Manosque (Basses-Alpes). Rev. Inst. Fr. Pétrole, XXIII/6, pp. 774-792, 3 figs., 1 pl.
- AUBERT, D. (1963) Notice explicative de la feuille 1202 Orbe. Atlas géologique de la Suisse, feuille 42.
- AUBOUIN, J. (1964) Réflexion sur le problème des Flysch et des Molasses: Son aspect dans les Hellénides (Grèce). Eclog. geol. Helv., 57/2, pp.461-496, 12 fig.
- BAILEY, E.H. et STEVENS, R.E. (1960) Selective staining of K-feldspar and plagioclase on rock slabs and thin sections. Am. Mineralogist 45, 1020-1025, 1960.
- BANNER, F.T. (1972) Pithonella ovalis from the early Cenomanian of England. Micropaleontology 18/3, pp. 278-284, 2 pl.
- BANNER, F.T. et EAMES, F.E. (1966) Recent progress in world-wide Tertiary stratigraphical correlation Earth-Sc. Rev., Amsterdam, vol.2, no 2, pp. 157-179, 1966.
- BATHURST, R.G.C. (1971) Carbonate sediments and their diagenesis. Elsevier, Amsterdam, 620 p., 359 fig 25 tabl.
- BAUDELLOT, S. et L.de BONIS (1966) Nouveaux Gliridés (Rodentia) de l'Aquitainien du bassin d'Aquitaine. C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 2, pp. 341-343, 1 fig.
- BAUDELLOT, S. et L.de BONIS (1968) - , Contribution à l'étude des Rongeurs de l'Aquitainien moyen et supérieur de l'Agenais. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, tome 104, pp.160-164, 1 fig.
- BAUDELLOT, S. et CROUZEL, F. (1969) Sur un nouveau gisement aquitainien de Vertébrés près de Colomiers (Haute-Garonne). C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 2, séance du 17 février 1969, pp. 58-59.
- BAUMBERGER, E. (1904) Ueber die Molasse im Seeland und im Bucheggberg. Verhandlungen Naturf. Ges. Basel, 15/2, pp. 317-328, 1 pl.
- BAUMBERGER, E. (1915) Beiträge zur Geologie der Umgebung von Biel und Grenchen. Verh. Naturf. Ges. Basel, Vol. XXVI, pp. 109-141, 5 fig., 1 pl.
- BAUMBERGER, E. (1927) Die stampischen Bildungen der Nordwestschweiz und ihrer Nachbargebiete mit besonderer Berücksichtigung der Molluskenfaunen. Eclogae geol. Helv., 20/4, pp. 533-578, 6 fig., 1 tabl., 2 pl.
- BAUMBERGER, E. et STEHLIN, H.G. (1934) Die Molasse des schweizerischen Mittellandes und des Jura-gebietes. Geol. Führer der Schweiz, Fasc. I, pp. 57-75,
- DE BEAUMONT, G. (1961) Nouveaux restes de Daphnoidae Hough (Carnivora) de l'Oligocène européen. Eclog. geol. Helv., 54/2, pp. 546-551, 2 pl.
- BELLAIR, P. (1958) La Sédimentation et la Sélection différentielle des Evaporites. Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 495-500, 3 fig.
- BERNSTEIN, K.H. (1961) Zum Grunddiagramm Sand-Ton-Karbonat. Zeitschr. für angewandte Geol., 9, pp. 469-472, 11 fig.
- BERSIER, A. (1936) La forme de la transgression burdigalienne dans la région vaudoise. C.R.S. Soc. géol. Fr., (30 mars 1936) 7, pp. 111.
- BERSIER, A. (1936) Un critère de durée dans l'Oligocène vaudois. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 59, 240, pp. 103-109, 2 fig.
- BERSIER, A. (1937) Une formation éolienne subdésertique dans le Sidérolithique du Mormont (Vaud) Eclog. geol. Helv., 30/2, pp. 231-234.
- BERSIER, A. (1938) La subsidence dans l'avant-fosse molassique des Alpes. C.R. Acad. Sc., 206, pp.445-447.
- BERSIER, A. (1938) Caractère et signification de la sédimentation dans l'avant-fosse alpine (phase externe). C.R. Acad. Sc., 206, pp. 193-195.
- BERSIER, A. (1938) Traces éoliennes du continent antémolassique dans les premiers sédiments de la Molasse suisse. C.R. Acad. Sc., 207, pp. 927-929
- BERSIER, A. (1938) Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat. Mém. Soc. Vaud. Sc. Nat., vol. 6, no 3, 128 pp., 30 fig.

- BERSIER, A. (1945) - Sédimentation molassique : Variations latérales et horizons continus à l'Oligocène.
Eclog. geol. Helv., 38/2, pp. 452-458, 1 pl.
- BERSIER, A. (1948) - Les sédimentations rythmiques synorogéniques dans l'avant-fosse molassique alpine.
Int. Geol. Congress, 18th Session, Great Britain, part IV, pp. 83-92, 4 fig.
- BERSIER, A. (1949) - La sédimentation cyclique de type molassique paralique en fonction de la subsidence continue. Sédimentation et Quaternaire, Led-Sam édit., Bordeaux, pp. 9-14.
- BERSIER, A. (1952) - Notice explicative, feuille 27 de l'Atlas géologique suisse.
- BERSIER, A. (1953) - La sédimentation cyclique des faciès détritiques molasse et houiller, significati-
et causes. Rev. Inst. Franç. Pétr., No. spécial, pp. 51-56.
- BERSIER, A. (1958) - Exemples de sédimentation cyclothématique dans l'Aquitainien de Lausanne.
Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 842-853, 4 fig.
- BERSIER, A. (1958) - Séquences détritiques et divagations fluviales.
Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 854-893, 11 fig.
- BERSIER, A. et VERNET, J.P. (1956) - Un cas d'oolithisation en faciès détritique.
Bull. Soc. vaud. Sc. nat., Vol. 66, No. 290, pp. 205-225.
- BERSIER, A. et VERNET, J.P. (1964) - Etudes sédimentologiques dans le Chandelar.
Bull. Soc. vaud. Sc. nat., Vol. 68, No. 314, pp. 455-465, 1 fig., 4 tabl.
- BERTSCHY, R. (1958) - Geologie der Kreide und Molasse in der Umgebung von Grandson (Kt. Waadt).
Eclog. geol. Helv., 51/2, pp. 217-263, 10 fig., 1 pl.
- BIETLOT, A. (1940) - Méthodes d'analyse granulométrique. Application à quelques sables éocènes de
Belgique. Mém. Soc. géol. Belgique 64/2, pp. 81-169, 24 fig., 5 pl.
- BIGNOT, G. (1972) - Recherches stratigraphiques sur les calcaires du Crétacé supérieur et de l'Eocène
d'Istrie et des régions voisines. Essai de révision du Liburnien.
Trav. Lab. Micropal., Paris, No. 2, 353 pp., 264 fig., 11 tabl., 50 pl. h.-t.
- BIGNOT, G. et LEZAUD, L. (1964) - Contribution à l'étude des Pithonella de la Craie parisienne.
Rev. Micropal., 7/2, pp. 138-152, 3 tabl., 5 fig., 3 pl.
- BLACK, M. (1933) - The algal sediments of Andros Island, Bahamas.
Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. B. 222, pp. 165-192, 16 fig., 2 pl.
- BLACK, M. (1933) - The precipitation of calcium carbonate on the Great Bahama Bank.
Geol. Mag., 70, pp. 455-466, 1 fig., 1 pl.
- BLANCHET, R. (1854) - Aperçu de la distribution du terrain tertiaire dans le canton de Vaud.
Lausanne, 8 pp.
- BLAU, R.V. (1966) - Molasse und Flysch im östlichen Gurnigelgebiet (Kt. Bern).
Mit einem paläontologischen Teil : Terrestrische Gastropoden aus der oligocaenen
und miocaenen Molasse der Gurnigelregion und des Gebietes zwischen Thunersee und
Napf. Beitr. Geol. Karte der Schweiz, N.F. 125 Lief, 155 p.
- BOURQUIN, Ph. (1946) - Notice explicative de la feuille No. 15 de l'Atlas géologique de la Suisse
au 1:25'000.
- BUCH, Leopold von (1803) - Catalogue d'une collection des roches qui composent les montagnes de
Neuchâtel. Gesammelte Schriften. Erster Band, pp. 584-687. Berlin 1867.
- BUCH, Leopold von (1803) - Mémoire sur le Gypse de Boudri. Gesammelte Schriften. Erster Band, pp.
702-709, 3 fig. Berlin 1867.
- BÜCHI, U.P., WIENER, G. & HOFMANN, F. (1965) - Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von
Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz.
Eclog. geol. Helv., 58/1, pp. 87-108, 5 fig., 1 pl.
- BULL, W.B. (1972) - Recognition of alluvial-fan deposits in the stratigraphic record.
Soc. Econom. Pal. Min., Special public., 16, pp. 63-83, 15 fig.
- CASTEL, M. (1967) - Charophytes de l'Oligocène supérieur de Marseille.
Bull. Soc. géol. Fr., (7), IX, pp. 514-519, 3 fig., 3 pl.
- CASTEL, M. (1968) - Zones de Charophytes pour l'Oligocène d'Europe occidentale.
C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 4, pp. 121-123, 1 tabl.
- CATZIGRAS, F. et E. COLOMB (1965) - Précisions sur l'emploi du terme de "molasse" et de quelques
autres dénominations courantes dans le Miocène du Sud-Est de la France.
C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 9, pp. 312-313.
- CAYEUX, L. (1916) - Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires.
Mém. Carte géol. France, Paris, 524 pp., 80 Figs., 56 Pl.

- CAILLIEX, L. (1929) - Les roches sédimentaires de France. Roches siliceuses. Mém. Expl. Carte géol. France, Paris, 774 p., 17 fig., 30 pl.
- CAYEUX, L. (1935) - Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées. (Calcaires et dolomies). Masson et Cie, Paris, 463 pp. 9 fig., 26 pl.
- CHAVANNES, S. (1854) - Essai sur la géologie d'une partie du pied du Jura comprise entre le Nozon et Yverdon. Bull. Soc. vaud. Sci. nat., 4/32, pp. 14-24.
- CLARK, J., J.R. BEERBOWER and K.K. KIETZKE (1967) - Oligocene sedimentation, stratigraphy, paleoecology and paleoclimatology in the Big Badlands of South Dakota. Fieldiana : Geology memoirs, Chicago, vol. 5, 158 p., 56 fig.
- COLLET, L.W. et Ed. PAREJAS (1934) - Contribution à l'étude du Tertiaire du Salève. No. 1. Les environs de Mornex. C.R.S. Soc. phys. et hist. nat. Genève, vol. 51, No. 2, pp. 171-174.
- COLLET, L.W. et Ed. PAREJAS (1936) - Contribution à l'étude du Tertiaire du Salève. No. 2. La région comprise entre les Esserts et les Usses. C.R.S. Soc. phys. et hist. nat. Genève. vol. 53, No. 2, pp. 95-98.
- COLLET, L.W. et Ed. PAREJAS (1936) - Contribution à l'étude du Tertiaire du Salève. No. 3. Vue d'ensemble. C.R.S. Soc. phys. et hist. nat. Genève, vol. 53, No. 2, pp. 98-101, 1 fig.
- COLOM, G. (1961) - La paléoécologie des lacs du Ludien-Stampien inférieur de l'île de Majorque. Rev. Micropal. 4/1, pp. 17-29, 3 fig., 4 pl.
- COLOM, G. (1967) - Los depositos lacustres del Burdigalense superior de Mallorca. Mem. Real. Acad. Cien. Artes, Barcelona, Num. 728, vol. XXXVIII/5, pp. 327-395, 23 fig., 9 pl., 1 carte.
- COLOM, G. (1967) - Les lacs du Burdigalien supérieur de l'île de Majorque (Baléares) et le rôle des Mélosires (Diatomées) dans la formation de leurs varves. Bull. Soc. géol. Fr., (7). IX, pp. 835-843, 5 fig., 2 pl.
- CROSBY, E.J. (1972) - Classification of sedimentary environments. Soc. Ec. Pal. Min., special pub. No. 16, pp. 4-11, 5 fig.
- CSEPREGHY-MEZNERICS, I. (1964) - Le problème du "Chattien"-Aquitainien du point de vue de l'histoire de la subdivision du Miocène. In "Colloque sur le Paléogène", Bordeaux 1962. Mém. B.R.G.M., 28, p. 893-907.
- CUSTER, W. (1928) - Etude géologique du pied du Jura vaudois. Mat. carte géol. Suisse N.S., liv. 59, 72 pp., 6 fig., 2 pl.
- DANGEARD, L. (1931) - Algues inférieures dans le calcaire concrétionné de la Limagne. C.R. Acad. Sc., t. 192, pp. 172-174.
- DANGEARD, L. (1933) - Sur la présence de Foraminifères dans l'Oligocène du Massif Central. C.R.S. Soc. géol. Fr., No. 2, pp. 12-13.
- DAUBREE, A. (1848) - Notice sur le dépôt tertiaire supérieur de Sundgau (Haut-Rhin) et sur la transformation en kaolin des galets feldspathiques de ce dépôt. Bull. Soc. géol. Fr., 2e sér. t. V, pp. 165-172, 1 fig.
- DESOR, E. et A. GRESSLY (1858) - Note sur la structure géologique du plateau de Trois-Rods. Bull. Soc. sc. nat. Neuchâtel, Tome IV, pp. 440-449, 1858.
- DESOR, E. et A. GRESSLY (1859) - Etudes géologiques sur le Jura neuchâtelois. Mém. Soc. sc. nat. Neuchâtel, Tome IV, 1859.
- DOEGLAS, D.J. (1962) - Nouvelle représentation graphique pour l'interprétation des variations des caractéristiques dimensionnelles dans les sédiments argilo-sableux. Rev. Inst. Franc. Pétrole, 17/10, pp. 1203-1213, 21 fig.
- DOUXAMI, H. (1896) - Etudes sur les terrains tertiaires du Dauphiné, de la Savoie et de la Suisse occidentale. Annales de l'Univ. de Lyon, Masson et Cie, Edit. Paris, 315 p., 31 fig., 6 pl.
- DUNHAM, R.J. (1962) - Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In "Classification of carbonate rocks - a symposium" Am. Assoc. Petroleum Geologists Tulsa, Memoir 1, pp. 108-121, 1 tabl., 7 pl.
- DUPLAIX, S. et S. GUILLAUME (1962) - Etude stratigraphique et minéralogique de formations tertiaires du Jura. Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn., Paris, (2), vol. 5/1, pp. 37-54.
- DURAND, J.-H. (1963) - Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie: formation et âge. Bull. Soc. géol. Fr., (7), V, pp. 959-968.
- DURRELL, L.W. & L.M. SHIELDS (1961) - Characteristics of soil algae relating to crust formation. Trans. Amer. Microsc. Soc., 80/1, pp. 73-79, 7 fig.
- EMMENEGGER, C. (1962) - Géologie de la région sud de Fribourg. Molasse du Plateau et molasse subalpine. Bull. Soc. frib. sc. nat., vol. 51, 166 pp., 31 fig., 2 pl.
- ERNI, A. (1915) - Die mikroskopische Untersuchung der Sandsteine in "Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz". Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. 5 Lief. II B, pp. 20-59, 32 fig.

- ERNI, A. und KELTERBORN, P. (1948) - Ölgeologische Untersuchungen im Molassegebiet südlich Wangen a.d. Aare-Aarburg. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. ser. Lief. 26/2, pp. 1-37, 5 fig., 5 pl.
- EVANS, G. (1958) - Some aspects of Recent sedimentation in the Wash. Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 508-515, 5 fig.
- FAVINI, G.-C. (1970) - Stratonomie des formations molassiques de Suisse romande. Bull. Lab. géol. min. Univ. Lausanne, 184, 12 pp., 8 fig.
- FAVINI, G.-C. (1972) - Simulation stochastique unidimensionnelle de séquences stratigraphiques molassiques. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., 39/94, pp. 11-21, 2 fig., 7 tabl.
- FAVRE, A. (1867) - Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc. Edit. Masson, Paris, 3 tomes, Tome I, 464 pp., T. II, 437 pp., T. III, 587 pp. 1 atlas de 32 pl.
- FAVRE, A. (1879) - Description géologique du canton de Genève. Bull. Classe d'Agricult. Soc. Arts, Genève, No. 79, 292 pp., 6 tabl., No. 80, 153 pp., 8 tabl., 8 pl. III.
- FAVRE, J. (1911) - Description géologique des environs du Locle et de la Chaux-de-Fonds. Eclog. geol. Helv., 11, pp. 369-475, 36 fig.
- FAVRE, J., BOURQUIN, Ph., STEHLIN, H.G. (1937) - Etudes sur le Tertiaire du Haut-Jura neuchâtelois. Mem. soc. pal. suisse, vol. 60, pp. 1-47, 7 fig., 4 pl.
- FEIST-CASTEL, M. (1971) - Sur les Charophytes fossiles du bassin tertiaire d'Alès (Gard). Géobios, 4/3, pp. 157-172, 5 fig., 3 pl.
- FLANDRIN, J. (1958) - Essai de dénomination des roches sédimentaires par l'emploi systématique des diagrammes triangulaires. Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 634-642, 8 fig.
- FOLK, R.L. (1954) - The distinction between grainsize and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. Journ. Geology, 62/4, pp. 344-359, 2 fig., 1 pl.
- FOLK, R.L. (1959) - Practical petrographic classification of limestones. A.A.P.G. Bull., 43/1, pp. 1-38, 7 fig., 2 tabl., 5 pl.
- FOLK, R.L. (1962) - Spectral subdivision of limestone types. in "Classification of carbonate rocks - a symposium". Am. Assoc. Petr. Geol., Tulsa, Memoir 1, pp. 62-84, 7 fig., 3 tabl.
- FOURMARIER, P. (1933) - Principes de Géologie. Vaillant-Carmanne éd., Liège, 882 p., 537 fig.
- FREI, E. (1925) - Zur Geologie des südöstlichen Neuenburger Jura, insbesondere des Gebietes zwischen Gorges de l'Areuse und Gorges du Seyon. Mat. carte géol. Suisse. N.S., 55 livr., III partie, 98 pp., 17 fig., 3 pl.
- FREUDENBERG, H. (1941) - Die oberoligocänen Nager von Gaimersheim bei Ingolstadt und ihre Verwandten. Palaeontographica, XCII, Abt. A, pp. 99-164, 70 fig., 4 pl.
- FREYTET, P. (1965) - Sédimentation microcyclothématique avec croûtes zonaires à Algues dans le calcaire de Beauce de Chauffour-Etrenchy (Seine-et-Oise). Bull. Soc. géol. Fr., (7), VII, pp. 309-313, 1 fig., 1 pl.
- FREYTET, P. (1970) - Les dépôts continentaux et marins du Crétacé supérieur et des couches de passage à l'Eocène en Languedoc. Thèse de doctorat d'Etat, Orsay.
- FREYTET, P. et J.-C. PLAZIAT (1965) - Importance des constructions algaires dues à des Cyanophycées dans les formations continentales du Crétacé supérieur et de l'Eocène du Languedoc. Bull. Soc. géol. Fr., (7), VII, pp. 679-694, 3 fig., 6 pl.
- FRIZZELL, L. Don & H. EXLINE (1958) - Fish ossiculiths : Unrecognized microfossils. Micropaleontology, 4/3, pp. 281-285, 7 fig.
- FUCHS, Th. (1894) - Tertiaerfossilien aus den kohlenführenden miocaenablagerungen der Umgebung von Krapina und Radoboj und über die Stellung der sogenannten "Aquitansischen Stufe". Mitt. Jahrbuch der Kön. Ungar. Geol. Anstalt, 10/5, pp. 163-175.
- FÜCHTBAUER, H. (1954) - Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse. Heidelberger Beitr. Min. u. Petrogr., 4/1, pp. 26-53, 6 fig.
- FÜCHTBAUER, H. (1955) - Die Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse. Z. deutsch. geol. Ges. Jahrgang 1953, B. 105/3, pp. 527-530, 2 fig.
- FÜCHTBAUER, H. (1955) - Die Sedimentpetrographischen Untersuchungen in der Molasse der Bohrung Scher-
stetten 1. Geol. Bavarica, Nr. 24, pp. 44-51, 1 fig.
- FÜCHTBAUER, H. (1958) - Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorlandsmolasse. Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 928-941, 9 fig.
- FÜCHTBAUER, H. (1959) - Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. Erdöl und Kohle, 12 Jg. 8, pp. 605-613, 7 fig.
- FÜCHTBAUER, H. (1963) - Zum Einfluss des Ablagerungsmilieus auf die Farbe von Biotiten und Turmalinen. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 10, pp. 331-336, 3 fig.
- FÜCHTBAUER, H. (1964) - Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. Eclog. geol. Helv., 57/1, pp. 157-298, 29 fig., 12 tabl.

- GANSS, O. und P. SCHMIDT-THOME (1953) - Die gefaltene Molasse am Alpenrand zwischen Bodensee und Salzach. Z. deutsch. geol. Ges., 105/III, pp. 402-495, 8 fig.
- GASSER, U. (1966) - Sedimentologische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuch (Kt. Luzern). Eclog. geol. Helv., 59/2, pp. 723-772, 9 fig., 1 pl., 3 tabl.
- GEBELEIN, C.D. (1969) - Distribution, morphology, and accretion rate of recent subtidal algal stromatolites, Bermuda. Journ. Sed. Petr., 39/1, pp. 49-69, 19 fig.
- GEES, R.A. (1967) - Graphic presentation of sedimentary mixtures containing four components. Geol. Rundsch., Stuttgart, Bd. 56, pp. 696-701, 6 fig.
- GEIGER, E. (1943) - Sedimentpetrographische Untersuchungen der oberen Süsswassermolasse und der pleistocänen Ablagerungen im Thurgau. In "Erläuterungen zur Atlasblatt 16" Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, pp. 35-62, 4 tabl., 3 pl.
- GIGNOUX, M. et L. MORET (1939) - L'Oligocène du bassin du Rhône entre Genève et Seyssel. Etudes Rhodaniennes. Revue de géographie régionale, vol. XV, No.1-3, pp. 139-144.
- GIGOUT, M. (1958) - Sur le mode de formation des limons et croûtes calcaires du Maroc. C.R. Ac. Sc., t. 247, pp. 97-100, 1 fig.
- GIGOUT, M. (1960) - Sur la genèse des croûtes calcaires pléistocènes en Afrique du Nord. C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 1, pp. 8-9, 1 fig.
- GILLIERON, V. (1885) - Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne. Mat. carte géol. Suisse, Liv. 18, 532 p., 1 tabl., 13 pl.
- GINSBURG, R.N. & H.A. LOWENSTAM (1958) - The influence of marine bottom communities on the depositional environment of sediments. Journ. Geology, 66/3, pp. 310-318, 5 fig., 2 pl.
- GLOCK, W.S. (1923) - Algae as Limestone Makers and Climatic Indicators. Am. Jour. Sci., 206/35, pp. 377-408.
- GOSWAMI, S.K. (1955) - Occurrence of Scytonema sp. in the lignite of Kashmir valley. Current Sci., 24/2, p. 56, 1 fig.
- GRAMBAST, L. (1958) - Etude sur les Charophytes tertiaires d'Europe occidentale et leurs rapports avec les formes actuelles. Thèse, Paris, 286 p. (non publiée).
- GRAMBAST, L. (1962) - Sur l'intérêt stratigraphique des Charophytes fossiles : exemple d'application au Tertiaire parisien. C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 8, pp. 207-209, 1 fig.
- GRAMBAST, L. (1962) - Aperçu sur les Charophytes tertiaires du Languedoc et leur signification stratigraphique. C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 10, pp. 313-314.
- GRAMBAST, L. (1964) - Indications fournies par les Charophytes pour la stratigraphie du Paléogène. In "Colloque sur le Paléogène". Mém. B.R.G.M., 28/II, Paris, pp. 1009-1111.
- GRAMBAST, L. et PAUL, P. (1965) - Observations nouvelles sur la flore de Charophytes du Stampien du bassin de Paris. Bull. Soc. géol. Fr., (7), VII, pp. 239-247, 4 fig., 2 pl.
- GREPPIN, J.-P. (1855) - Notes géologiques sur les terrains modernes, quaternaires et tertiaires du Jura bernois et en particulier du val de Delémont. Nouv. Mém. Soc. Helv. Sci. Nat., vol. XIV, 71 p., 1 carte, 2 pl.
- HÄFELI, C. (1966) - Die Jura/Kreide-Grenzsichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern). Eclog. geol. Helv., 59/2, pp. 565-696, 40 fig., 17 tabl., 2 pl.
- HARDIE, L.A. (1969) - Algal Crusts from Bahamas. AAPG Bull., 53/3, p. 721 (abstract).
- HECKEL, P.H. & COCKE, J.M. (1969) - Phylloid Algal-Mound Complexes in Outcropping Upper Pennsylvanian Rocks of Mid-Continent. AAPG Bull., 53/5, pp. 1058-1074, 12 fig.
- HEIM, Albert (1919) - Geologie der Schweiz. Band I Molasseland und Juragebirge. Tauchnitz, Leipzig 1919.
- HEIM, A. (1922) - Le sondage pour la recherche du pétrole à Challex. Eclog. geol. Helv., 17/1, 4 fig., pp. 115-123.
- HEIM, A. und A. HARTMANN (1919) - Untersuchungen über die petrolführende Molasse der Schweiz. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser., Lief. VI, 95 pp. 36 fig., 13 pl.
- HELMER, D. et M. VIANEY-LIAUD (1970) - Nouveaux gisements de Rongeurs dans l'Oligocène moyen de Provence. C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 2, pp. 45-46.
- HOFMANN, F. (1955) - Neue geologische Untersuchungen in der Molasse der Nordostschweiz. Eclog. geol. Helv., 48/1, pp. 99-124, 3 fig., 3 tabl.
- HOFMANN, F. (1957) - Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz. Eclog. geol. Helv., 50/2, pp. 289-322, 2 fig., 8 tabl.
- HOFMANN, F. (1960) - Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken. Jb. St.-Gall. Naturw. Ges. 76, pp. 1-28, 3 fig.
- HOFMANN, F. (1960) - Beitrag zur Kenntnis der Glimmersandsedimentation in der oberen Süsswassermolasse der Nord- und Nordostschweiz. Eclog. geol. Helv., 53/1, pp. 1-25, 5 fig.

- HOMMERIL, P. et M. RIOULT (1965) - Etude de la fixation des sédiments meubles par deux algues marines: *Rhodothamniella floridula* (DILLWYN) J. FELDM. et *Microcoleus chthonoplastes* THUR. Marine Geol., 3/1-2, pp. 131-155, 7 fig., 1 pl., 6 tabl.
- HORN AF RANTZIEN, H. (1956) - An annotated check-list of genera of fossil Charophyta. Micropaleontology, 2/3, pp. 243-256.
- HOWE, M.A. (1932) - The geologic importance of the lime-secreting algae with a description of a new travertine-forming organism. U.S. Geological Survey, Prof. paper 170-E, pp. 57-64, 5 pl., n.-t.
- HUGUENEY, M. (1967) - Les Gliridés (Mammalia, Rodentia) de l'Oligocène supérieur de Coderet-Bransat (Allier). C.R.S. Soc. géol. Fr., fasc. 3, pp. 91-92, 1 fig.
- HUGUENEY, M. (1968) - Les Gliridés (Rodentia) de l'Oligocène supérieur de Saint-Victor-La-Coste (Gard). Palaeovertebrata, vol. 2, fac. 1, pp. 1-23.
- HUGUENEY, M. (1969) - Les Rongeurs (Mammalia) de l'Oligocène supérieur de Coderet-Bransat (Allier). Doc. Lab. géol. Fac. Sc. Lyon, No. 34, 227 p., 5 pl., 116 texte-fig.
- HUGUENEY, M. et D. KISSLING (1972) - Nouveaux gisements de mammifères de l'Oligocène supérieur de Suisse occidentale. Geobios, 5/1, pp. 55-66, 3 fig.
- HÜNERMANN, K.A. (1964) - Der Schädel eines *Microbunodon* (Mammalia, Artiodactyla, Anthracotheriidae) aus dem Chattium von Ebnat, Kt. St. Gallen. Eclog. géol. Helv., 57/2, pp. 823-824.
- HÜNERMANN, K.A. (1967) - Der Schädel von *Microbunodon minus* (CUVIER) (Artiodactyla, Anthracotheriidae) aus dem Chatt (Oligozän). Eclog. géol. Helv., 60/2, pp. 661-688, 11 fig.
- HÜRZELER, J. (1940) - Alter und Fazies der Molasse am Unterlauf des Talent zwischen Oulens und Charvornay. Eclog. géol. Helv., 33/2, pp. 191-194, 2 fig.
- HÜRZELER, J. (1944) - Beiträge zur Kenntnis der Dimylidae. Mémoires suisses de Paléontologie, vol. 65, (1944-1947), pp. 1-44.
- HÜRZELER, J. (1945) - Säugertierpalaeontologische Bemerkungen zur Abgrenzung und Unterteilung des Aquitanien. Eclog. géol. Helv., 38/2, pp. 655-661.
- JACCARD, A. (1869) - Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelais. Mat. carte géol. Suisse, livr. 6, 342 p., 8 pl., 2 cartes.
- JACCARD, A. (1870) - Supplément à la description du Jura vaudois et neuchâtelais. Mat. carte géol. Suisse, 7ème livraison,
- JACCARD, A. (1893) - Deuxième supplément à la description géologique du Jura vaudois, neuchâtelais des districts adjacents, du Jura français et de la Plaine suisse. Mat. carte géol. Suisse, 7ème livraison, 1893.
- JAMES, N.P. (1972) - Holocene and pleistocene calcareous crust (Caliche) profiles : Criteria for sub-aerial exposure. Journ. Sed. Petrology, 42/4, pp. 817-836, 12 fig.
- JAYET, A. (1964) - Notice explicative de la feuille 1281 Coppet de l'atlas géologique de la Suisse.
- JEANNET, A. (1934) - Environs de Neuchâtel et Val de Travers. Guide géol. Suisse, fasc. V, pp. 348-355, 2 fig.
- JORDI, H.A. (1951) - Zur Stratigraphie und Tektonik der Molasse von Yverdon. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., vol. 18, No. 55, pp. 1-15, 2 fig.
- JORDI, H.A. (1955) - Geologie der Umgebung von Yverdon (Jurafuss und mittelländische Molasse). Beitr. Geol. Karte der Schweiz, N.F. 99. Lief., 84 S., 17 fig., 4 tab. 5 taf.
- JOUKOWSKY, E. et J. FAVRE (1913) - Monographie géologique et paléontologique du Salève (Haute-Savoie, France). Mém. Soc. Phys. Hist. nat., Genève, 37/4, pp. 295-523, 56 fig., 29 pl., 1 carte.
- KAHLE, C.F. (1968) - Petrology and structure of a Salina (Silurian) dolomitized algal stromatolite complex, Northwestern Ohio. AAPG Bull., 52/3, pp. 534-535. (Abstract).
- KENDALL, C.G. St. C. & SKIPWITH, P.A. D'E. (1968) - Recent algal mats of a Persian Gulf lagoon. Journ. Sed. Petr. 38/4, pp. 1040-1058, 9 fig.
- KENNEDY, G.C. (1947) - Charts for correlation of optical properties with chemical composition of some common rock-forming minerals. Amer. Mineral. 32/9-10, pp. 561-573, 16 fig.
- KILIAN, W. (1884) - Note sur les terrains tertiaires du territoire de Belfort et des environs de Montbéliard (Doubs). Bull. Soc. géol. Fr., 3è sér., t. 12, pp. 729-759, 1 tabl.
- KLEMENT, K.W. (1969) - Phylloid Algal Banks. AAPG Bull., 53/1, pp. 207-208. (Abstract).
- KOLB, C.R. & J.R. Van LOPIK (1966) - Depositional Environments of the Mississippi River Deltaic Plain-Southeastern Louisiana. In "Deltas in their geological framework". Houston Geological Society, pp. 17-61, 15 fig., 2 tabl.

- KOPP, J. (1941) - Geologische Beobachtungen im Gebiet nördlich Lausanne.
Eclog. geol. Helv., 34/2, pp. 188-190.
- KRINSLEY, D. and J. DONAHUE (1968) - Methods to study surface textures of sand grains, a discussion.
Sedimentology, 10, pp. 217-221, 2 fig.
- LAGOTALA, H. (1935) - Les gîtes bitumeux de Dardagny.
Le Globe, Genève, Tome 71, Mémoires, 107 pp., 17 fig.
- LATREILLE, G. (1969) - La sédimentation détritique au Tertiaire dans le Bas-Dauphiné et les régions limitrophes. Doc. Lab. géol. Fac. sc. Lyon, No. 33, 254 p. 78 texte-fig., 39 tabl.
- LEIGHTON, M.W. & C. PENDEXTER (1962) - Carbonate rock types.
In "Classification of carbonate rocks - a symposium".
Am. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa, March 1, pp. 11-61, 3 fig., 1 tabl., 5 pl.
- LEMCKE, K. (1955) - Die Fazies der Molasse der Bohrung Scherstetten 1.
Geol. Bavarica, 24, pp. 18-21, 1 pl.
- LEMCKE, K. (1962) - Beziehungen zwischen Molassedimentation und Alpentektonik an der Wende Oligozän/Miozän. Zeitschr. deutsch. geol. Ges., 113, pp. 280-281.
- LEMCKE, K. (1963/64) - Die Ergebnisse der Bohrung Savigny I bei Lausanne.
Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol.-Ing., vol. 46, No. 78, pp. 1-11, 1 fig.
- LEMCKE, K., ENGELHARDT, W.v., & FÜCHTBAUER, H. (1953) - Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes.
Beihf. Geol. Jb. 11, pp. 1-10, 31 fig., 9 pl., 72 tabl.
- LOCARD, A. (1893) - Monographie des Mollusques tertiaires terrestres et fluviatiles de la Suisse.
Mém. Soc. paléont. suisse, vol. XIX, 2, pp. 123-275, 1 pl.
- LOGAN, B.W. (1961) - Cryptozoon and associate stromatolites from the Recent, Shark Bay, Western Australia. Journ. Geology, 69/5, pp. 517-533, 1 fig., 2 pl.
- LOMBARD, A. (1949) - Critères descriptifs et critères génétiques dans l'étude des roches sédimentaires.
Bull. Soc. belge géol. LVIII 2, pp. 214-272, 2 fig., 6 tabl., 1 pl.
- LOMBARD, A. (1953) - Les rythmes sédimentaires et la sédimentation générale.
Rev. Inst. Franç. Pétrol., No. spécial, pp. 9-40, 1 fig.
- LOMBARD, A. (1956) - Géologie sédimentaire. Les séries marines.
Masson et Cie, Paris, 722 p., 180 fig., 13 pl.
- LOMBARD, A. (1965) - La stratification. Révision, critique et essai de théorie génétique.
Eclog. geol. Helv., 58/1, pp. 135-155, 12 fig.
- LUDWIG, G. (1953) - Untersuchungs- und Darstellungsmethoden von Schwermineralanalysen.
Geologie, Berlin, 2/3, pp. 208-219, 11 fig.
- MÄDLER, K. (1955) - Zur Taxonomie der tertiären Charophyten.
Geol. Jb. 70, pp. 265-328, 3 tabl., 4 pl.
- MAILLARD, G. et A. LOCARD (1892) - Monographie des Mollusques tertiaires terrestres et fluviatiles de la Suisse. Mém. Soc. paléont. suisse, vol. XVIII, 2., pp. 1-128, 1 pl.
- MARTINET, B., DEYNOUX, M. et TROMPETTE, R. (1969) - Méthode de dosage de CaO et MgO dans les roches carbonatées. Trav. Lab. Scien. Terre, St-Jérôme, Marseille, No. 2, 9 pp., 1 fig.
- MARTINI, J. (1963) - Note sur le Tertiaire des environs de Mornex (Haute-Savoie).
Arch. Sc., Genève, 15/3, pp. 619-626, 3 fig.
- MARTINI, J. (1968) - Note sur la migration du géosynclinal subalpin savoyard à la fin de l'Eocène et au début de l'Oligocène. C.R. Séances, SPHN Genève, NS, 3/2, pp. 79-89, 4 fig.
- MARTINI, J. (1969) - Sur quelques occurrences de barytine et célestines authigènes dans les Molasses oligocènes de l'Ain et de la Haute-Savoie (France). C.R. Séances, SPHN Genève, NS, 4/1, pp. 42-44.
- MARTINI, J. (1969) - Note sur le Gypse Chattien de la région genevois.
C.R. Séances, SPHN Genève, NS, 4/2, pp. 137-136, 1 fig.
- MATTER, A. (1964) - Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet. (Entlebuch- Tal der Grossen Fontanne, Kt. Luzern). Eclog. geol. Helv., 57/2, pp. 315-428, 15 fig. 14 tabl., 1 pl.
- MERIAN, P. (1836) - Über die Verbreitung einer tertiären marinischen Formation im Kanton Basel.
Verh. Naturforsch. Ges. Basel, t. II, pp. 44-46.
- MERIAN, P. (1838) - Beiträge zur marinischen Tertiärformation im Kanton Basel.
Verhand. Naturforsch. Ges. Basel, III, pp. 34-38.

- McRAE, S.G. (1972) - Glauconite.
Earth.Sci. Rev., 8/4, pp. 397-440, 7 fig., 1 tabl.
- MICHEL, R.C. (1965) - Les calcaires oligocènes de Grilly (Ain, France).
Arch. Sc., Genève, 18/3, pp. 746-751, 2 fig.
- MONTY, C. (1965) - Recent algal stromatolites in the Windward Lagoon, Andros Island, Bahamas.
Ann. Soc. Géol. Belgique, 88/6, pp. 269-276, 2 pl. h.-t.
- MONTY, C. (1967) - Distribution and structure of recent stromatolitic algal mats, eastern Andros Island, Bahamas. Ann. Soc. Belgique, 90/3, pp. 55-100, 10 fig., 22 pl. h.-t.
- MOOS, A. von (1935) - Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen.
Schweiz. min. petr. Mitt., 15/2, pp. 169-185, 2 fig., 1 tabl.
- MOREL, P. (1945 et 1946) - Riamont, Mt Mouret, Mt Mussy. Etude de quelques avant-plis du Jura gessien.
Bull. Soc. Nat. et Arch. de l'Ain, No. 59, pp. 86-117 et No. 60, pp. 37-46.
- MORET, L. (1936) - Contribution à la biologie des algues "lithophages" d'eau douce.
Trav. Lab. Géol. Univ. Grenoble, t. XVIII, pp. 181-204, 5 pl.
- MORNOD, L. (1945) - Molasse subalpine et bord alpin de la région de Bulle (Basse-Gruyère).
Eclog. geol. Helv., 38/2, pp. 441-452, 2 fig.
- MORNOD, L. (1947) - Extension et position de la série de Cucloz à la base du Niremout et des Pléiades.
Eclog. geol. Helv., 39/2, pp. 144-153, 3 pl.
- MORNOD, L. (1949) - Géologie de la région de Bulle.
Mat. carte géol. Suisse, N.S., 91 livr., pp. 1-119, 44 fig., 1 tabl.
- NECKER, L.A. (1841) - Etudes géologiques dans les Alpes.
Ed. Pitois, Paris, 492 pp., 5 pl.
- NICOLET, A.C. (1839) - Essai sur la constitution géologique de la vallée de la Chaux-de-Fonds.
Mém. Soc. sc. nat. Neuchâtel, t. II, pp. 1-26, 1 carte, 1 pl.
- NIGGLI, P., GRUBENMANN, U., JEANNET, A., MOSER, R. (1915) - Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz. Beitr. Geol. Schw., Geotechn. Ser. V, pp. 1-74, 72 fig.
- ODIN, G.-S. (1969) - Méthode de séparation des grains de glauconie. Intérêt de leur étude morphologique et structurale. Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., Paris, XI/2, pp. 171-176, 3 pl.
- ODIN, G.-S. (1971) - Sur la genèse des glauconies et leur signification sédimentologique d'après l'étude détaillée du sondage du Mont Cassel (Nord). C.R. Acad. Sc., Paris, t. 272, pp. 697-699.
- OERTLI, H. (1956) - Ostrakoden aus der oligozänen und miozänen Molasse der Schweiz.
Schw. Pal. Abh., Bd. 74, pp. 1-120, 16 tabl., 17 fig.
- D'ORBIGNY, A. (1852) - Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphique.
Ed. Masson, Paris.
- OUSTALET, E. (1870) - Notice sur les couches à Meletta, situées à Froidefontaine (Haut-Rhin).
Bull. Soc. géol. Fr., 2è sér., t. 27, pp. 360-367.
- PALMOWSKI, J. & WACHENDORF, H. (1966) - Eine unteroligozäne Wirbeltierfauna aus einer Spaltenfüllung in Herrlingen/Blau (Württ.). Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol. 6, pp. 229-245, 2 fig., 1 pl.
- PAPP, A. (1959) - TERTIÄR I. Teil. Grundzüge Regionaler Stratigraphie.
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1959.
- PAREJAS, E. (1938) - Notice explicative de la feuille 12 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1: 25'000., 25 pp., 2 fig.
- PAREJAS, E. (1938) - Essai sur la géographie ancienne de la région de Genève.
Rev. Fac. Sc. Univ. Istanbul, tome III, fasc. 2, 50 p., 12 fig.
- PAULUS, B. (1963) - Zur Stratigraphie und Fazies der oligozänen und miozänen Molasse im südlichen Oberbayern. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. 30/78, pp. 53-97, 12 fig.
- PAVONI, N. (1958) - Die Vorlandsedimentation am Beispiel der Oberen Süßwassermolasse (OSM) der Schweiz.
Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 1035-1050, 10 fig.
- PETTIJOHN, F.J. (1954) - Classification of sandstones.
Journ. Geology, 62/4, pp. 360-365, 1 fig.
- PETTIJOHN, F.J. (1957) - Sedimentary rocks.
Harper Bros., New York.

- PICARD, M.D. and HIGH, I.R. Jr. (1972) - Criteria for recognizing lacustrine rocks.
Soc. Econom. Pal. Min., Special pub., 16, pp. 108-145, 24 fig., 12 tabl.
- POKORNY, V. (1966) - La variation de la taille moyenne chez les Ostracodes comme indice paléoécologique. Eclog. géol. Helv., 59/1, pp. 269-276, 4 fig.
- PRATVIEL, L. (1967) - L'Oligocène de la partie occidentale du bassin d'Aquitaine. Cartes faciologiques et structurales. Notice explicative. Bull. B.R.G.M., No. 2, pp. 89-99, 8 pl.
- PRIEM, F. (1906) - Sur les Otolithes des Poissons éocènes du Bassin parisien.
Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 6, pp. 265-280.
- PRIEM, F. (1906) - Sur les Poissons fossiles du Stampien du Bassin parisien.
Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 6, pp. 281-290.
- PRIEM, F. (1911) - Sur des Otolithes de Poissons fossiles des terrains tertiaires supérieurs de France. Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 14, pp. 111-114.
- PRIEM, F. (1914) - Sur des Otolithes de Poissons fossiles des terrains tertiaires supérieurs du Sud-Ouest de la France. Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 17, pp. 111-114.
- RAINWATER, E.H. (1966) - The Geological Importance of Deltas.
In "Deltas in their geological framework". Houston Geological Society, pp.1-15, 9 fig.
- RAMSEYER, R. (1952) - Geologie des Wistenlacherberges (Mont Vully) und der Umgebung von Murten.
Geol. Jahrb., 1952, 1953, pp. 1-10, 1 pl.
- RAZOUKOWSKY, G. De (1789) - Histoire naturelle du Jorat et de ses environs.
Jean Mourer, Libraire, Lausanne, t. 2, 238 p., 3 pl.
- REEVES, C.C. Jr. (1968) - Introduction to paleolimnology.
Dev. in sedim. 11, Elsevier Publ., Amsterdam, 228 p., 124 fig.
- RENEVIER, E. (1869) - Coupes géologiques des deux flancs du bassin d'Yverdon.
Bull. Soc. géol. Fr., (3), t. 1, pp. 1-10, 1 pl.
- RENEVIER, E. et H. SCHARDT (1900) - Notice explicative de la feuille XI, 2^e édition, de la Carte géologique de la Suisse au 1: 100'000. Eclog. géol. Helv., 6/2, pp. 351-369.
- RICHARD, M. (1946) - Contribution à l'étude du Bassin d'Aquitaine. Les gisements de Mammifères tertiaires.
Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 19, pp. 1-10, 1 pl.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1953) - Über salinare Sedimentation.
Geol. Jahrb., 1953, 1954, pp. 1-10, 1 pl.
- RIGASSI, D. (1957) - Le Tertiaire de la Région Genevoise et Savoisiennne.
Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 24, pp. 1-10, 1 pl.
- RINNE, F. (1912) - Etude pratique des roches.
Lamarre Ed., Paris, 955 p., 450 fig.
- RIVIERE, A. et VERNHET, S. (1958) - Contribution à l'étude sédimentologique de l'étang de Leucate.
Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 25, pp. 1-10, 1 pl.
- ROLLIER, L. (1898) - Deuxième supplément à la description géologique de la partie jurassienne de la feuille XI de la Carte géologique de la Suisse au 1: 100'000. Bull. Soc. géol. Fr., (3), t. 25, pp. 1-10, 1 pl.
- ROLLIER, L. (1910) - Nouvelles observations sur le Sidérolithique et la Molasse oligocène du Jura central et septentrional. Bull. Soc. géol. Fr., (4), t. 17, pp. 1-10, 1 pl.
- ROLLIER, L. (1911) - Révision de la stratigraphie et de la tectonique de la molasse au nord des Alpes en général et de la molasse subalpine suisse en particulier. Mém. soc. helv. sc. nat., vol. 106, 1911, 1912, pp. 1-10, 1 pl.
- ROLLIER, L. (1912) - Nouvelles études sur les terrains tertiaires et quaternaires du Haut-Jura. Actes Soc. jurassienne d'Emulation, Porrentruy, Années 1910-1911, pp. 85-130, 7 fig.
- RUELLAN, A. (1967) - Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. V, No. 4, pp. 421-462, 5 fig., 2 pl.
- RUTSCH, R.F. (1933) - Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern.
Beitr. geol. Karte Schweiz, (N.F.), 66 Lief., 20, pp., 3 fig., 3 tabl.
- RUTSCH, R. (1934) - (Mit Beiträgen von E. BAUMBERGER und H.G. STEHLIN). Stampische Fossilien von der St. Peterinsel (Kt. Bern). Verh. Naturforsch., Ges., Basel, Bd. XLV, pp. 89-97, 1 fig.

- RUTSCH, R.F. (1936) - Ein Fall von Einregelung bei Mollusken aus dem Vindobonien des bernischen Seelandes. Eclog. geol. Helv., 29/2, pp. 599-607, 1 pl.
- RUTSCH, R. (1945) - Neue Auffassungen über die Entstehung der Molasse-Sedimente. Eclog. geol. Helv., 38/2, pp. 407-411.
- RUTSCH, R.F. (1971) - Région-type et faciès de la molasse. Arch. Sci., Genève, 24/1, pp. 11-15.
- RUTTE, E. (1954) - Süsswasserkalke und Kalkalgenbildungen in der chattischen Unteren Süsswassermolasse von Hoppetenzell nördlich Stockach/Baden. Geol. Jb., Bd. 69, pp. 517-536, 4 fig. 2 pl.
- RUTTE, E. (1961) - Mikrofossilien der Süsswasser-Molasse. Geol. Jb., Bd. 76, pp. 657-662, 1 fig.
- RUTTE, E. (1962) - Schlundzähne von Süsswasserfischen. Paläontographica, Bd. 120, pp. 165-212, 2 fig., 1 pl.
- SALIS, K. von (1967) - Geologische und sedimentologische Untersuchungen in Molasse und Quartär südöstlich Wolhusen (Entlebuch, Kt. Luzern). Mitt. Naturforsch. Ges. Luzern, Band XXI, 1967, 162 p., 27 fig., 6 tabl., 1 carte.
- SAUSSURE, H.-B. De, (1779) - Voyages dans les Alpes, Tome I, 452 p., 7 pl.
- SCHARDT, H. (1879) - Molasse rouge du pied du Jura. Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat., XVI, pp. 514-517.
- SCHARDT, H. (1880) - Notice géologique sur la Molasse rouge et le terrain Sidérolithique du pied du Jura. Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat., XVI/83, pp. 609-646, 1 pl.
- SCHARDT, H. et DUBOIS, Aug. (1902) - Description géologique de la région des Gorges de l'Areuse (Jura vaudois). Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat., tome VIII, pp. 191-252.
- SCHAUB, H. (1964) - Les bassins paléogènes suisses. In "Colloque sur le Paléogène". Mém. B.R.G.M., 28/II, Paris, pp. 607-610.
- SCHAUB, S. und HÜRZELER, J. (1948) - Die Säugetierfauna des Aquitanien vom Wischberg bei Langenthal. Eclog. geol. Helv., 41/2, pp. 354-360, 4 fig.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1965) - On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes, and similar sedimentological data. U.S. Geol. Survey prof. paper 525-C, pp. 164-167, 1 fig.
- SCHEIDEGGER, A.E., POTTER, P.E. (1965) - Textural studies of graded bedding. Observation and theory. Sedimentology, Amsterdam, vol. 5, pp. 289-304, 5 fig.
- SCHROEDER, J.W. (1957) - Géologie du pétrole des Régions lémanique, genevoise et savoyarde (bassin molassique périalpin). Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., 23/65, pp. 17-31, 1 fig.
- SCHUMM, J.A. (1957) - Fluvial paleochannels. Geol. Soc. Am. Bull., Special paper, 16, pp. 98-107, 6 fig.
- SCHUPPLI, H.M. (1950) - Oelgeologische Untersuchungen im Schweizer Mittelland zwischen Solothurn und Moudon. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser., Lief. 26/3, 41 p., 4 pl.
- SCHUPPLI, H.M. (1952) - Oelgeologische Probleme der subalpinen Molasse der Schweiz. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser., Lief. 26/4, pp. 1-30, 4 fig., 2 pl.
- SCHUPPLI, H.M. (1952) - Oelgeologische Probleme des Mittellandes östlich der Linie Solothurn-Thun. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser., Lief. 26/4, pp. 32-70, 2 fig., 2 pl.
- SCHWAB, R.F. (1960) - Zur Stratigraphie und Tektonik der Molasse der Umgebung von Biel. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., vol. 26, No. 71, pp. 1-10.
- SCHWAB, R.F. (1960) - Einige Ergebnisse einer aeromagnetischen Studie im Gebiet des Waadtländerjuras. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., vol. 26, No. 71, pp. 31-32.
- SCHWAB, R.F. (1960) - Geologische Untersuchungen in der Molasse der Umgebung von Biel (Kanton Bern). Thèse Univ. Berne, 80 p., 10 fig., 2 tabl., 3 pl.
- SEILACHER, A. (1958) - Zur Ökologischen Charakteristik von Flysch und Molasse. Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 1062-1078, 1 fig., 3 pl.
- SELLEY, R.C. (1970 pour 1969) - Studies of sequence in sediments using a simple mathematical device. Q. Jl. geol. Soc. London, 125, 1970, pp. 557-581, 1 fig.
- SELLEY, R.C. (1970) - Ancient sedimentary environments. Chapman & Hall, London 267 p., 71 fig.

- SHEPARD, F.P. (1958) - Sediment Environments of the Northwest Gulf of Mexico.
Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 598-608, 6 fig.
- SHINN, E.A. (1968) - Practical significance of birdseye structures in carbonate rocks.
Journ. Sed. Petrology, 38/1, pp. 215-223, 13 fig.
- SHROCK, R.R. (1948) - A classification of sedimentary rocks.
Journ. Geology, 56/2, pp. 118-129, 1 tabl.
- SHROCK, R.R. (1948) - Sequence in layered rocks.
McGraw-Hill, New York, 507 p., 397 fig.
- SITTLER, C. (1965) - Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien. Etudes sédimentologiques et paléoclimatiques. Mém.Ser. Carte géol. Als.Lorr., Strasbourg, 24, 392 pp., 102 fig., 120 tabl.
- SMITH, N.D. (1972) - Flume experiments on the durability of mud clasts.
Journ. Sed. Petrology, 42/2, pp. 378-383, 6 fig.
- STEHLIN, H.G. (1902) - Classification de l'Oligocène et du Miocène en Suisse.
Arch. Sciences Phys. Nat. Vol. 14, pp. 492-494.
- STEHLIN, H.G. (1902) - Über die Grenze zwischen Oligocaen und Miocaen in der Schweizer Molasse.
Eclog. geol. Helv., 7/1, pp. 360-365.
- STEHLIN, H.G. (1902) - Ueber die Säugetierfauna aus dem Bohnerz des Chamblon bei Yverdon.
Eclog. geol. Helv., 7/1, pp. 365-366.
- STEHLIN, H.G. (1914) - Übersicht über die Säugetiere der schweizerischen Molasseformation, ihre Fundorte und ihre stratigraphische Verbreitung. Verh. Naturf. Ges. Basel, XXV, pp.179-193.
- STEHLIN, H.G. (1919) - Verzeichnis der Säugetierfunde in der schweizerischen Molasse.
in: HEIM, A. (1919) Geologie der Schweiz 1, pp. 145-152.
- STEHLIN, H.G. (1922) - Säugetierpaläontologische Bemerkungen zur Gliederung der oligocänen Molasse.
Eclog. geol. Helv., 16/2, pp. 575-581.
- STEHLIN, H.G. et SCHAUB, S. (1951) - Die Trigonodontie der simplicidentaten Nager.
Schweiz. palaeont.Abh., 67, pp. 1-385, 619 fig.
- STINTON, F.C. et D. KISSLING (1969) - Quelques otolithes de téléostéens de la Molasse oligocène de Suisse occidentale. C.R. séances SPHN Genève, NS, 3/3, pp. 140-154, 4 fig., 1 pl.
- STUDER, B. (1825) - Beiträge zu einer Monographie der Molasse.
Berne, 427 pp., 2 pl.
- STUDER, B. (1853) - Geologie der Schweiz.
2.Bd. Bern & Zürich.
- STUDER, B. (1872) - Index der Petrographie und Stratigraphie der Schweiz und ihrer Umgebungen.
Berne, 272 pp.
- SZÖTS, E., G. MALMOUSTIER et J. MAGNE (1964) - Observations sur le passage Oligocène-Miocène en Aquitaine et sur les zones de foraminifères planctoniques de l'Oligocène.
In "Colloque sur le Paléogène", Bordeaux 1962. Mém. B.R.G.M., 28, pp.433-454, 7 pl.
- TANNER, W.F. (1967) - Ripple mark indices and their uses.
Sedimentology, 9, pp. 89-104, 4 fig.
- TAUGOURDEAU-LANTZ, J. et C. ROSSET (1966) - Sur un nouveau microfossile incertae sedis de l'Oligocène du bassin de Narbonne. Rev. Micropaléont., 9/3, pp. 186-191, 4 fig., 1 pl.
- TERCIER, J. (1939) - Dépôts marins actuels et séries géologiques.
Eclog. geol. Helv., 32/1, pp. 47-100.
- TERCIER, J. (1941) - La Molasse de la région de Fribourg.
Eclog. geol. Helv., 34/2, pp. 185-187.
- THALER, L. (1964) - Sur l'utilisation des Mammifères dans la zonation du Paléogène de France.
In "Colloque sur le Paléogène", Bordeaux 1962. Mém.B.R.G.M., 28/II, Paris, pp.985-989.
- THALER, L. (1965) - Une échelle de zones biochronologiques pour les Mammifères du Tertiaire d'Europe.
C.R. Soc. géol. France, Paris, fasc. 4, p. 118.
- THALER, L. (1966) - Les rongeurs fossiles du Bas-Languedoc dans leurs rapports avec l'histoire des faunes et la stratigraphie du Tertiaire d'Europe. Mém. Mus. nation. Hist. nat., Paris, n.s., série C, t. 17, 295 p., 27 pl.
- THENIUS, E. (1959) - TERTIÄR II. Teil. Wirbeltierfaunen.
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1959, 328 pp., 12 fig., 32 tabl., 10 pl.

- TOBIEN, H. (1968) - Ein Kaalag in der Schweiz.
Paläont. Zeit., Stuttgart, 42, 1/2, pp. 127-129.
- TOBIEN, H. (1968) - Typen und Genese tertiärer Säugerlagerstätten.
Eclog. geol. Helv., 61/2, pp. 549-575, 2 fig.
- TONGIORGI, E. & TREVISAN, L. (1958) - Le rôle des lagunes dans la sédimentation rythmique des bassins subsidés (transgressions, régressions, éventuelles couches de charbon).
Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 775-778, 3 fig.
- TREFETHEN, J.M. (1950) - Classification of sediments.
Amer. Journ. Sc., 248/1, pp. 55-62, 5 fig.
- TRÜMPY, R. et BERSIER, A. (1954) - Les éléments des conglomérats oligocènes du Mt-Pélerin.
Eclog. geol. Helv., 47/1, pp. 119-166, 6 fig., 2 tabl.
- TWENHOFEL, W.H. (1926) - Treatise on sedimentation.
Bailliére, Tindall & Cox, London, 661 p., 61 fig., 55 tabl.
- VAN DER LINDEN, W.J.M. (1967) - Deltaic sequences in the tertiary peri-alpine depression.
Sediment. Geol., Amsterdam, 1, pp. 77-81, 1 fig.
- VATAN, A., ROUGE, P.-E. et F. BOYER (1957) - Etudes sédimentologiques et pétrographiques dans le Tertiaire subalpin et jurassien de Savoie et des régions limitrophes. Rev. Inst. franç. Pétrole, 12/4, pp. 468-480, 8 fig.
- VERNET, J.-P. (1956) - Les minéraux argileux des sédiments oligomiocènes du bassin molassique suisse.
C.R. Scéan. Acad. Sciences, Paris, 243, pp. 1129-1131.
- VERNET, J.-P. (1956) - La géologie des environs de Morges.
Eclog. geol. Helv., 49/1, pp. 157-241, 35 fig.
- VERNET, J.-P. (1958) - Les minéraux lourds d'une série chattienne de la molasse du Plateau suisse.
Bull. Soc. vaud. sc. nat. vol. 67, pp. 93-101, 2 fig.
- VERNET, J.-P. (1958) - Etudes sédimentologiques et pétrographiques des Formations Tertiaires et Quaternaires de la partie occidentale du Plateau suisse. Eclog. geol. Helv., 51/3, pp. 1115-1152. 13 fig.
- VERNET, J.-P. (1963) - Quelques observations géologiques dans la région de Commugny-Coppet.
Bull. Soc. vaud. Sc. nat., vol. 68, No. 311, 2 fig.
- VERNET, J.-P. (1964) - Pétrographie sédimentaire du sondage de Peissy.
Arch. Sci., Genève, vol. 17, fasc. 1, pp. 92-100, 2 fig.
- VERNET, J.-P. (1964) - Etudes sédimentologiques dans la molasse des Préalpes valaisannes.
Arch. Sc., Genève, 17/3, pp. 346-354, 2 fig., 2 tabl.
- VERNET, J.-P. (1964) - Pétrographie sédimentaire dans la molasse de la région d'Yverdon.
Bull. Soc. vaud. Sc. nat., vol 68, No. 314, pp. 443-454, 3 fig., 2 tabl.
- VERNET, J.-P. (1964) - Pétrographie sédimentaire des formations molassiques de la région de Bulle à Vevey. Bull. Ver. Schweiz. Pétrol.-Geol. u. Ing., 31/80, pp. 25-32, 3 fig., 2 tabl.
- VERNET, J.-P. (1967) - Néof ormation d'attapulgit e dans le bassin molassique suisse.
Bull. gr. franç. Argiles, 19/1, pp. 107-113, 2 fig., 1 pl.
- VIRET, J. & CASOLI, M. (1961) - Sur un Rongeur de la famille américaine des Aplodontidés découvert dans le Stampien supérieur de la Limagne bourbonnaise. Eclog. geol. Helv., 54/2, pp. 541-545, 2 fig.
- VISHER, G.S. (1972) - Physical characteristics of fluvial deposits.
Soc. Econom. Pal. Min., Special public., 16, pp. 84-97, 11 fig.
- VOLLMAYR, Th. (1966) - Oberoligozäne Gliridae (Rodentia, Mammalia) aus der süddeutschen Faltenmolasse.
Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., 6, pp. 65-107, 1 fig., 3 pl.
- WAGNER, A. et F. WELLHÄUSER (1966) - Corrélations pétrographiques et stratigraphiques de l'Oligocène dans l'est du bassin de Bellegarde-Seyssel (Haute-Savoie, France). C.R.S. Soc. Phys. Hist. nat., Genève, NS 1/2, pp. 75-82, 3 fig.
- WAGNER, A. (1970) - Etudes minéralogiques et sédimentologiques dans les formations tertiaires des bassins lémanique (Suisse occidentale) et de Frangy-Bellegarde (Haute-Savoie).
Arch. Sc., Genève, 22/3, 1969, pp. 605-624, 4 fig.
- WEISS, M.P. (1969) - Oncolites, Paleoecology, and Laramide Tectonics, Central Utah.
AAPG Bull., 53/5, pp. 1105-1120, 10 fig., 1 tabl.
- WOLF, K.H. (1965) - Littoral environment indicated by open-space structures in algal limestones.
Palaeo. G.C.E., 1, pp. 183-223, 6 fig., 8 tabl., 10 pl.
- WORNARDT, W.W. Jr. (1969) - Diatoms, past, present, future.
First Int. Conf. Plank. Microfossils, vol. II, pp. 690-714, 28 fig.
- ZÜBELEIN, H.K. (1955) - Die Makrofossilien des Tertiärs aus der Bohrung Scherstetten 1.
Geol. Bavarica, 24, pp. 22-39.
- ZÜBELEIN, H.K. (1957) - Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns.
Abh. hess. L.- Amt Bodenforsch., Wiesbaden, 23, pp. 5-91, 2 fig.

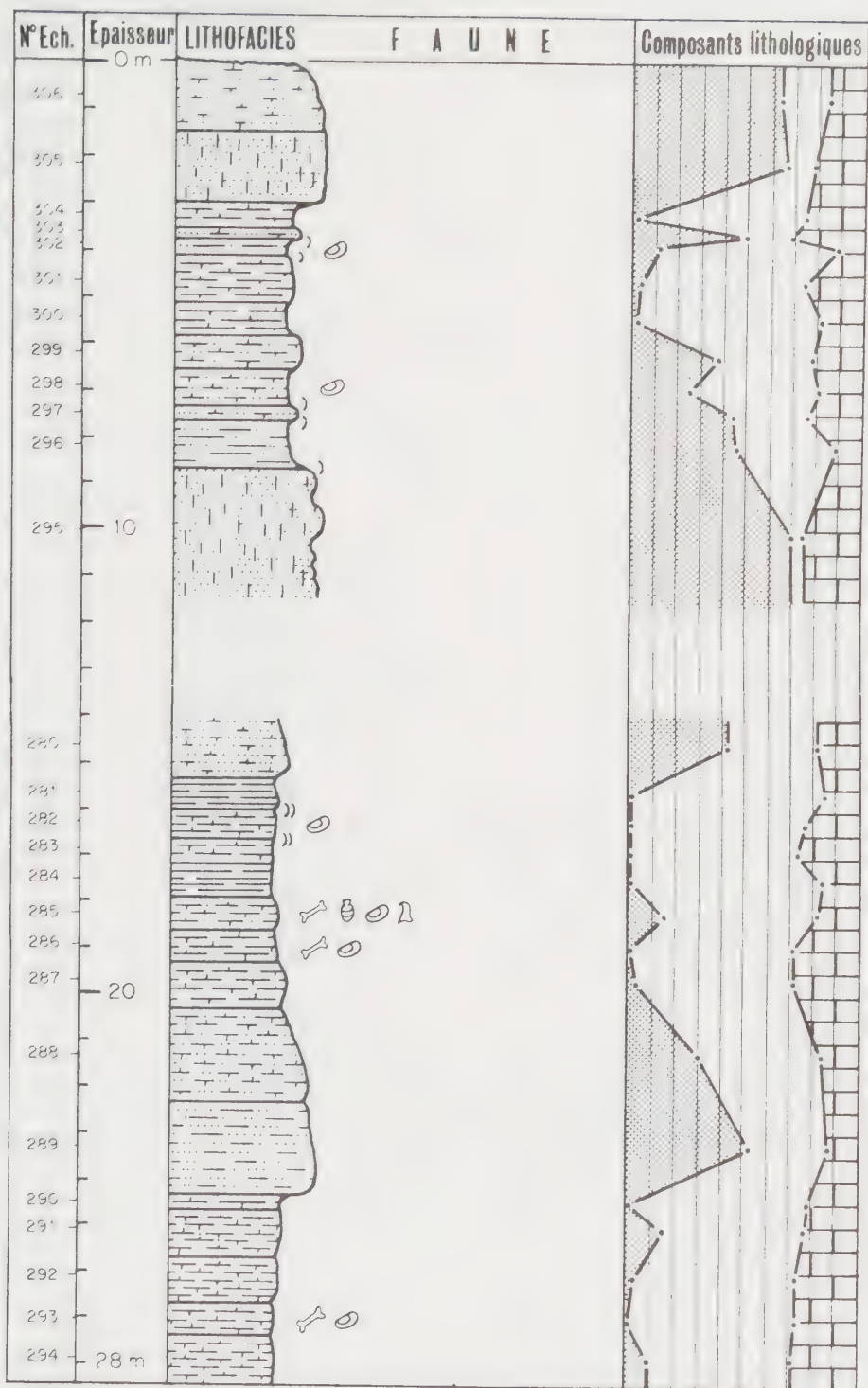
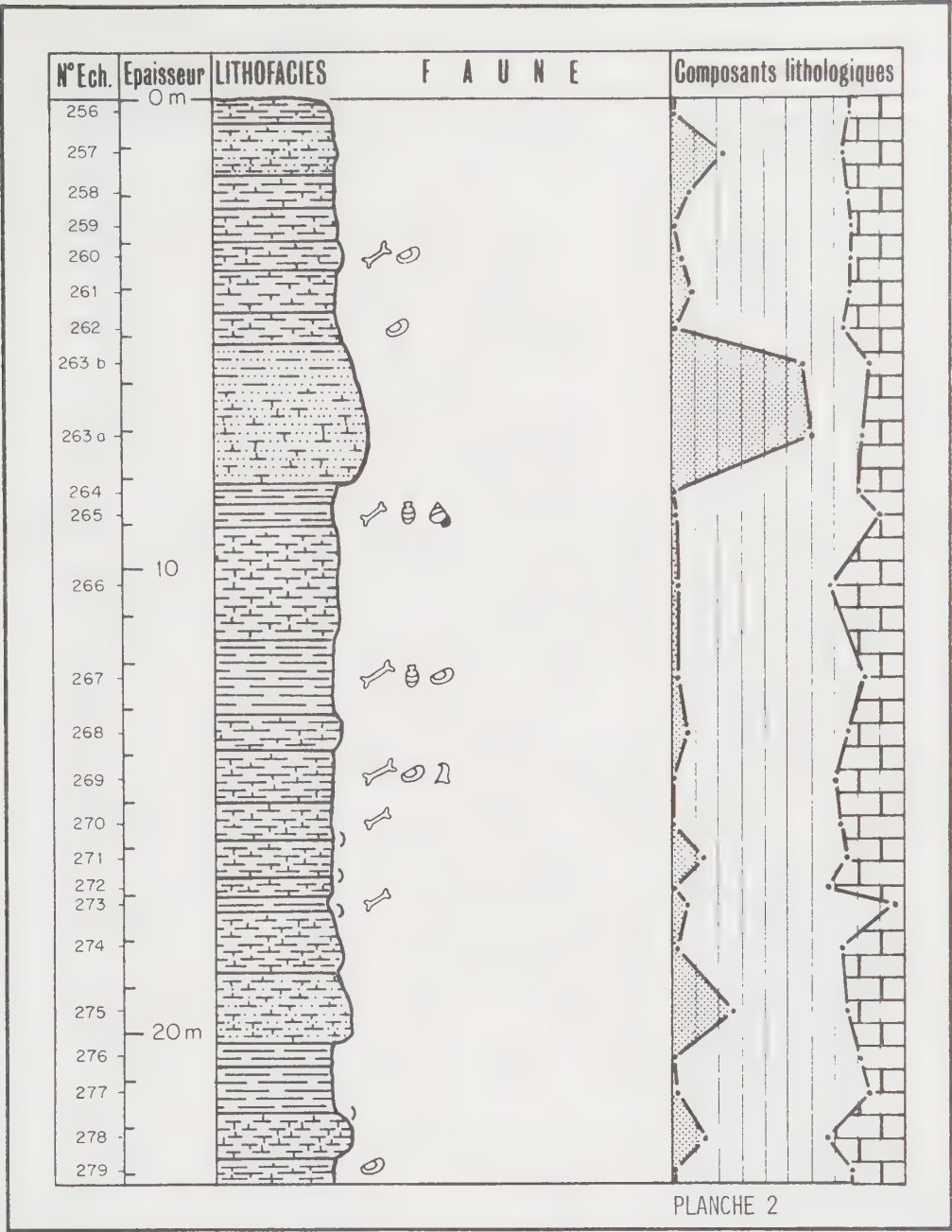
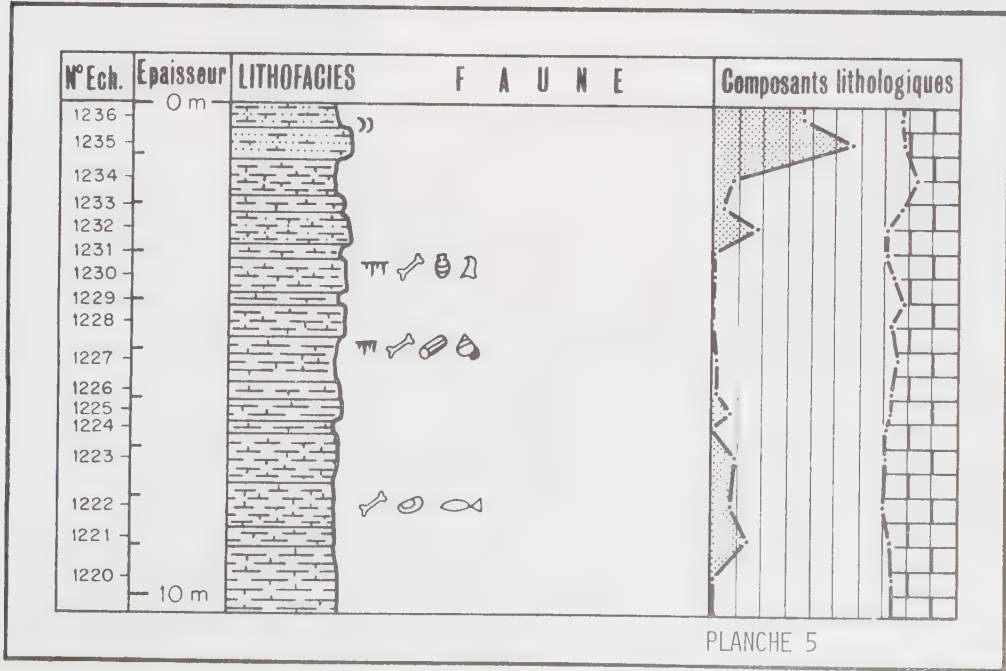
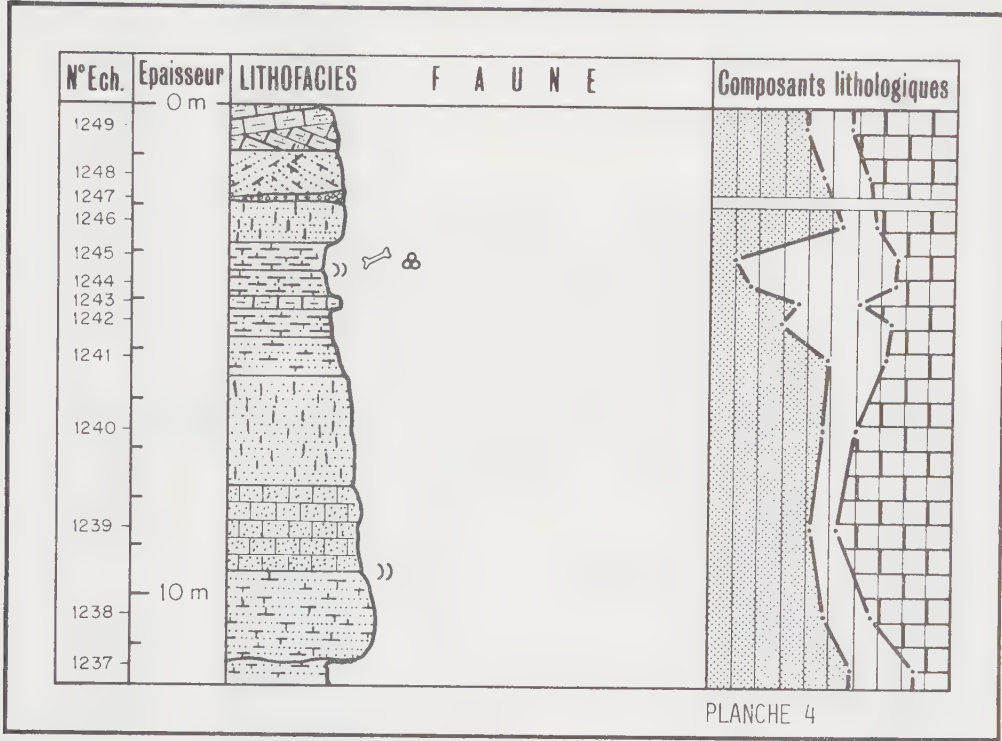
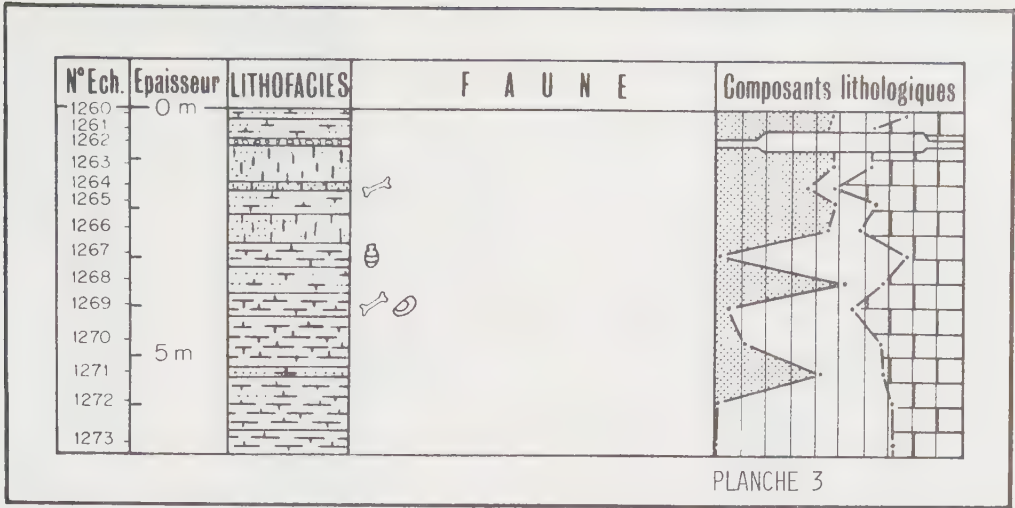
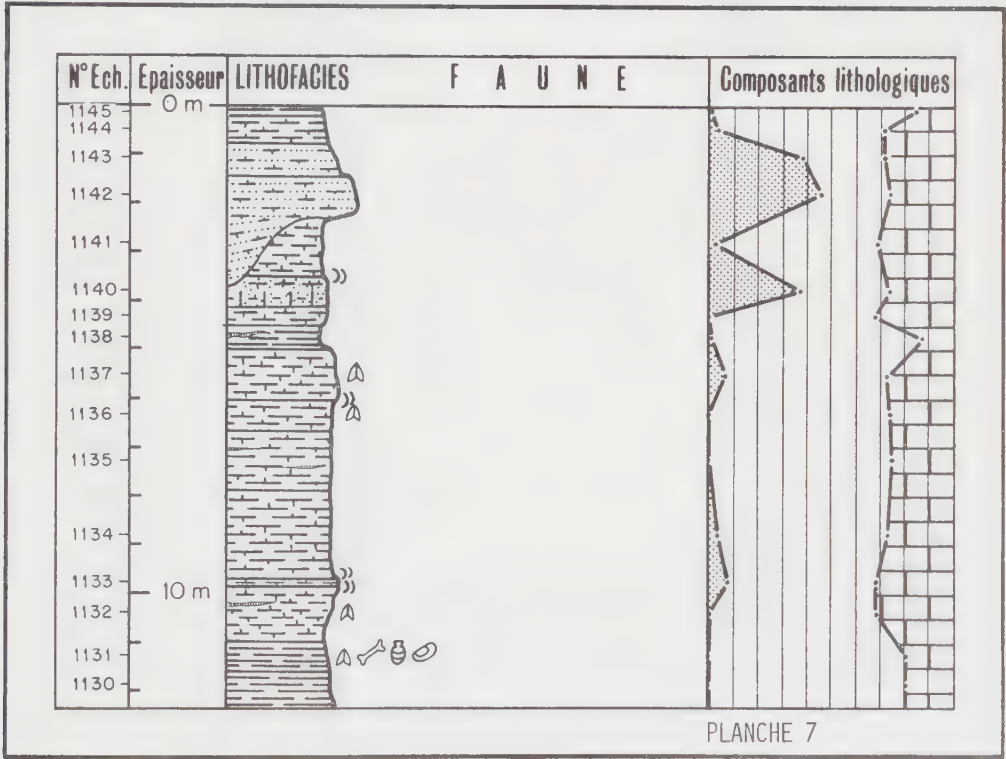
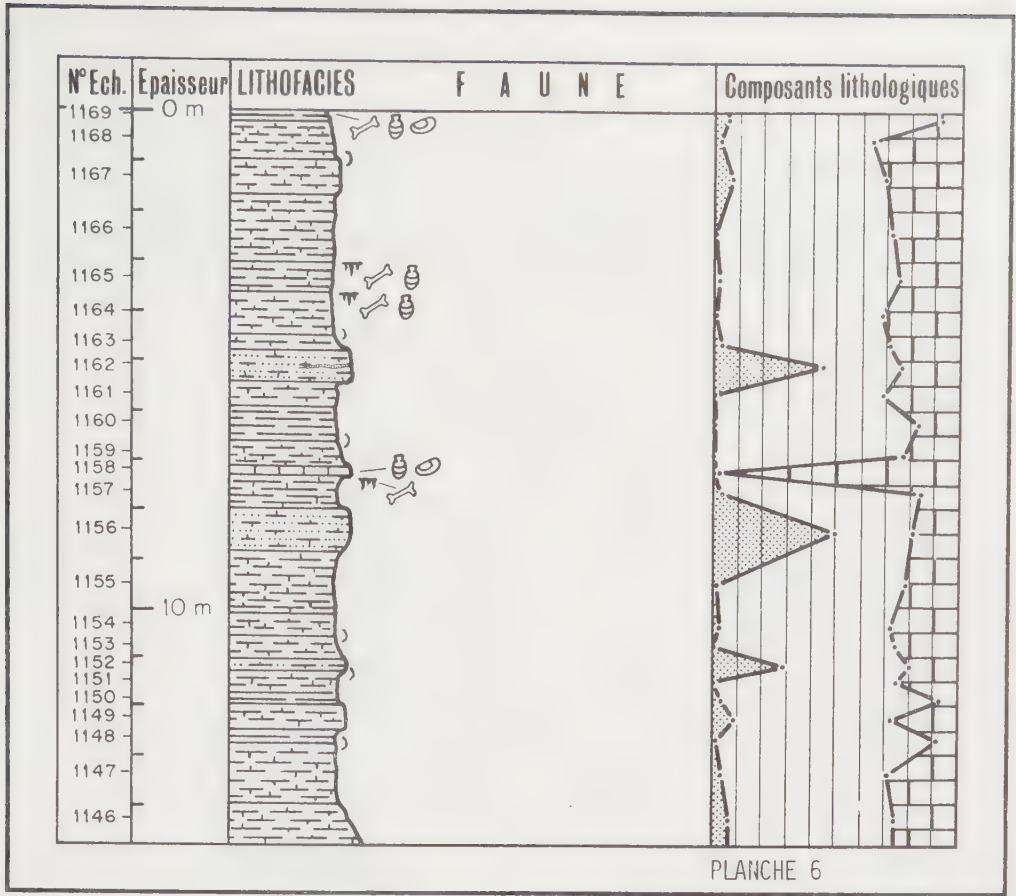


PLANCHE 1







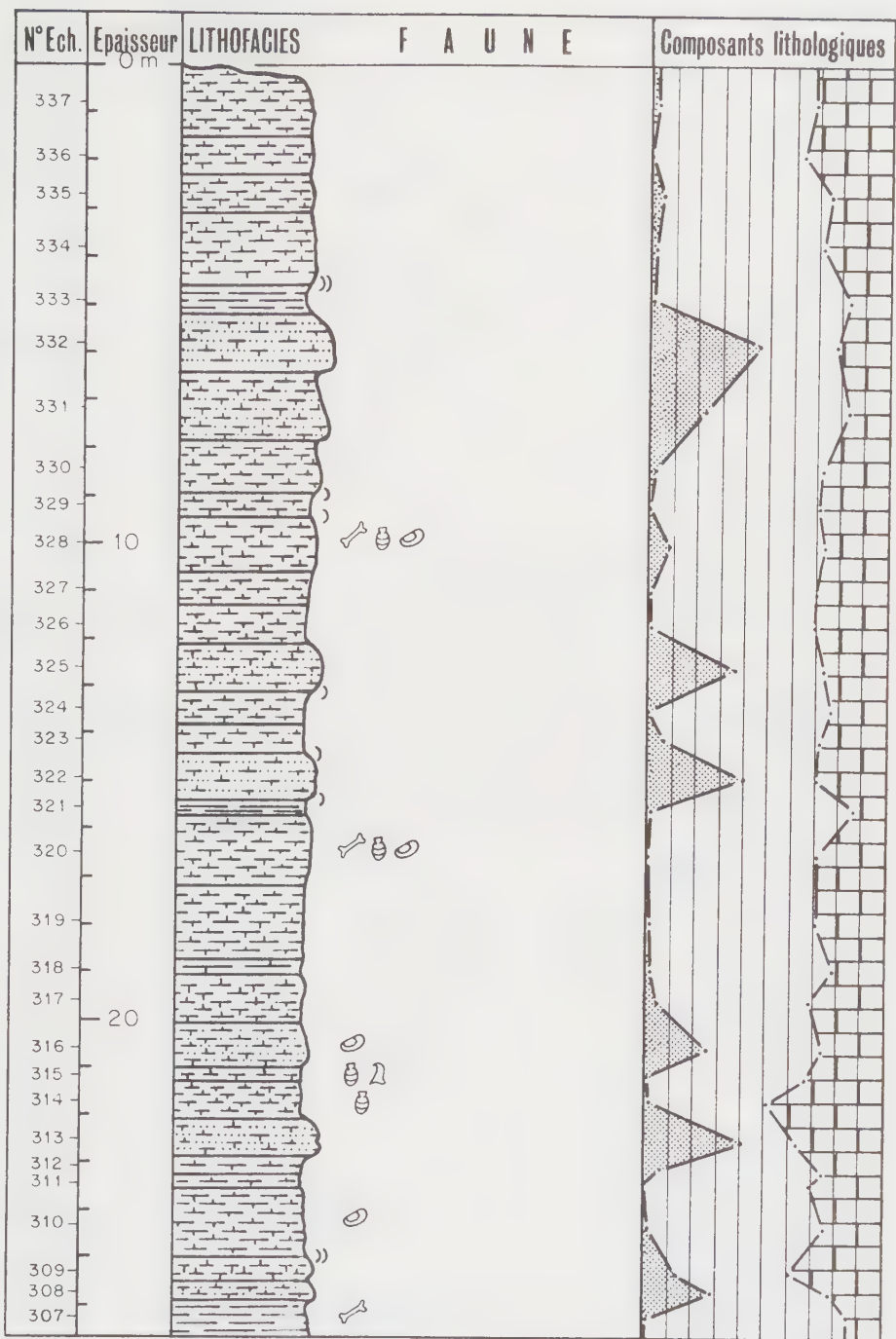
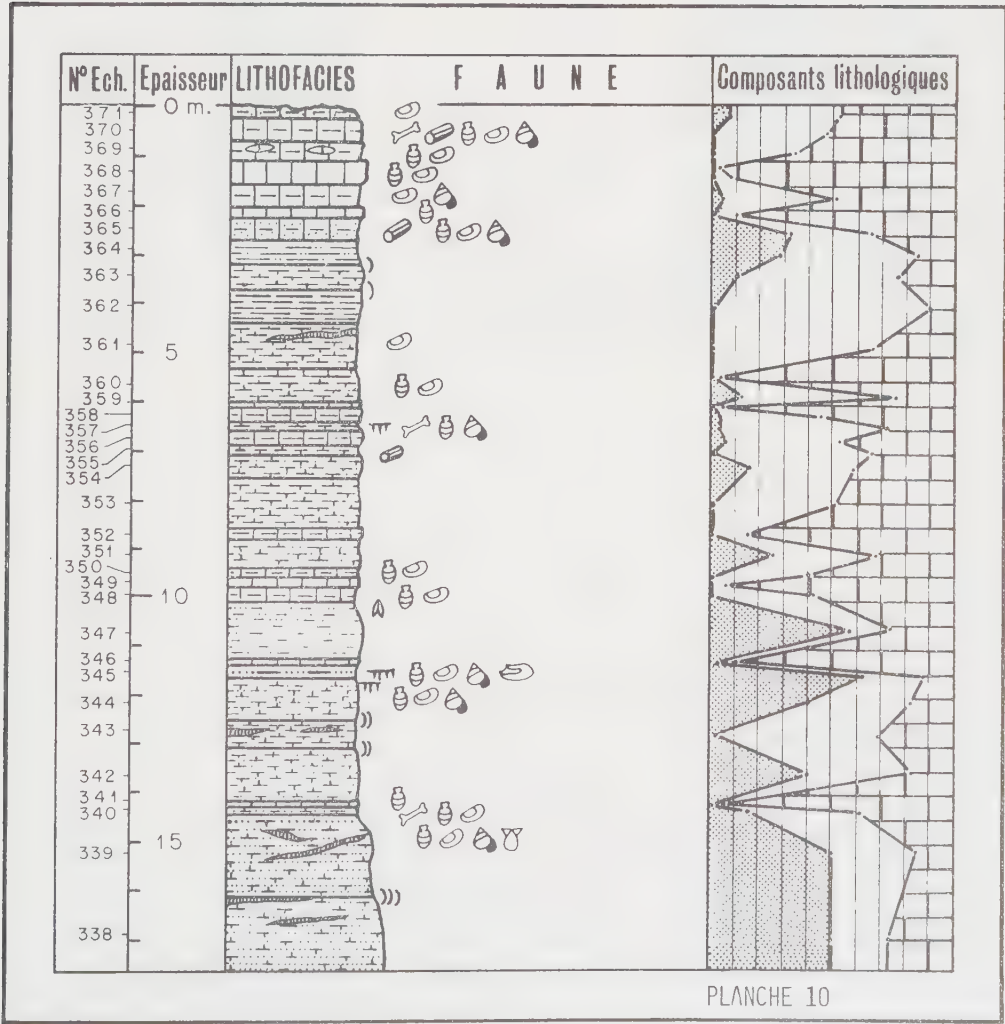
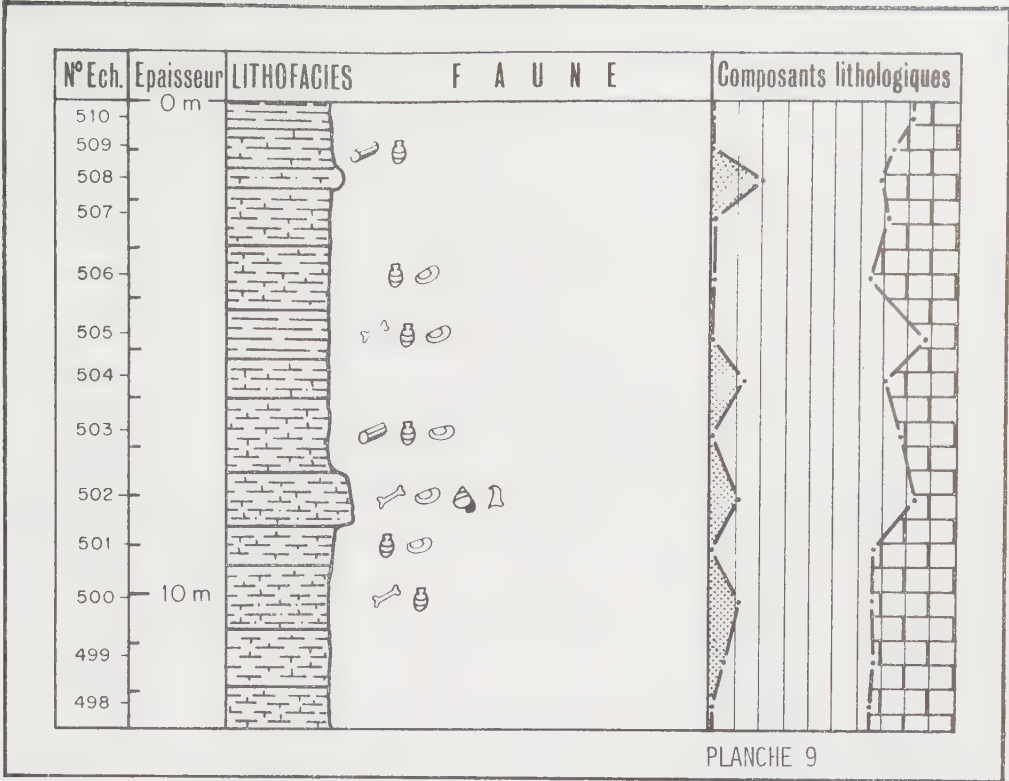
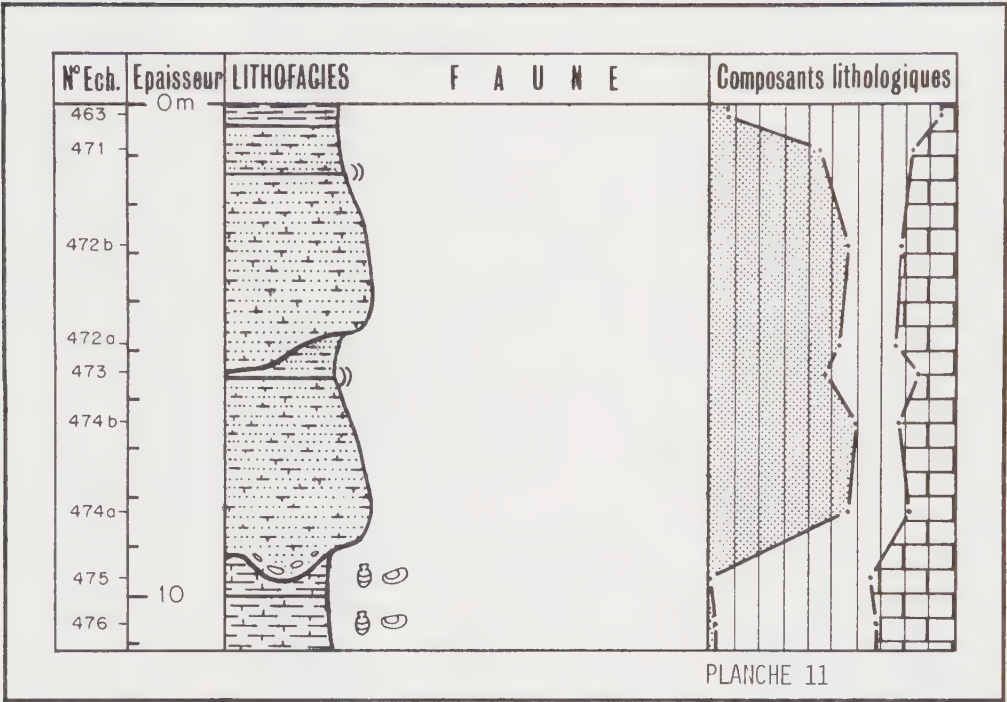


PLANCHE 8





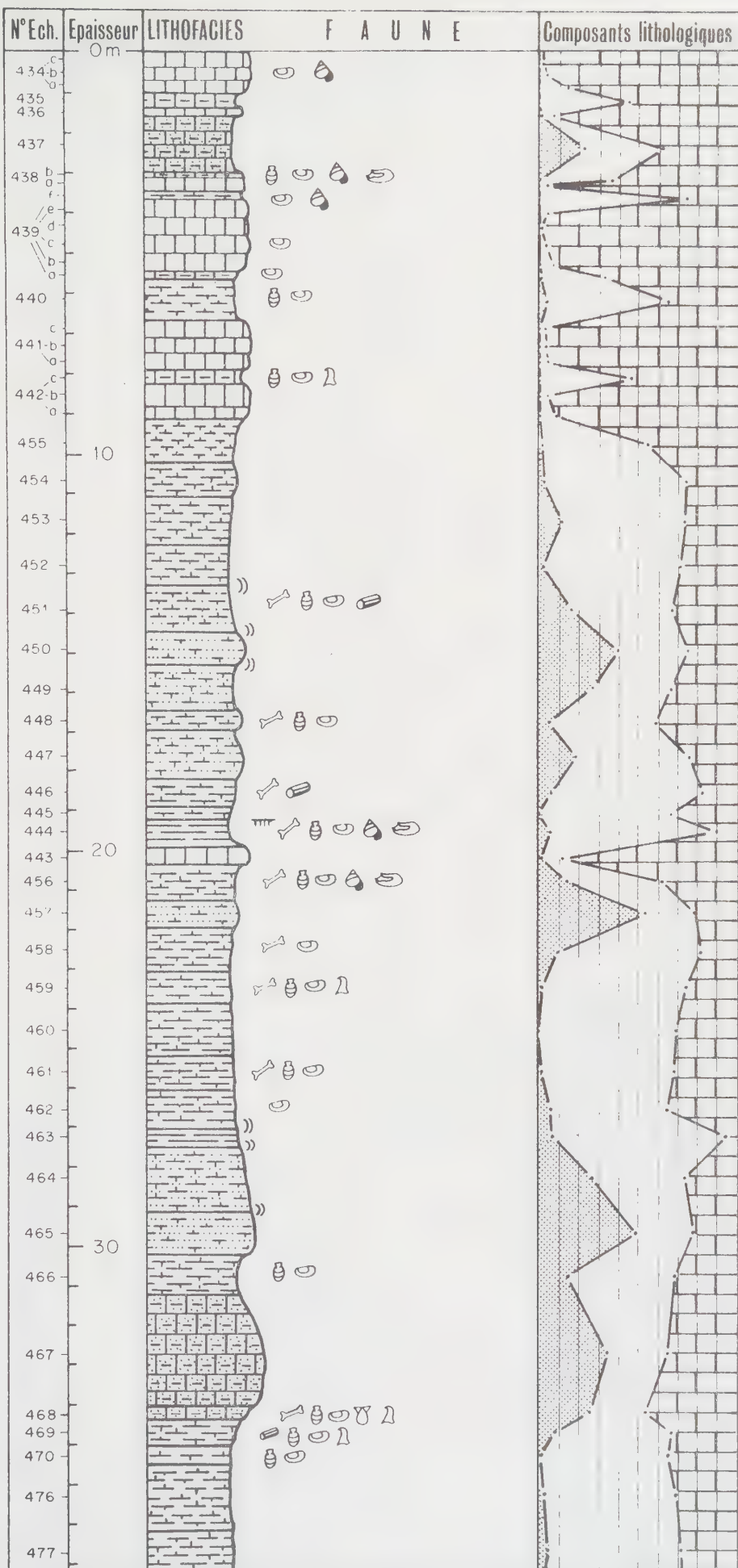


PLANCHE 12 A

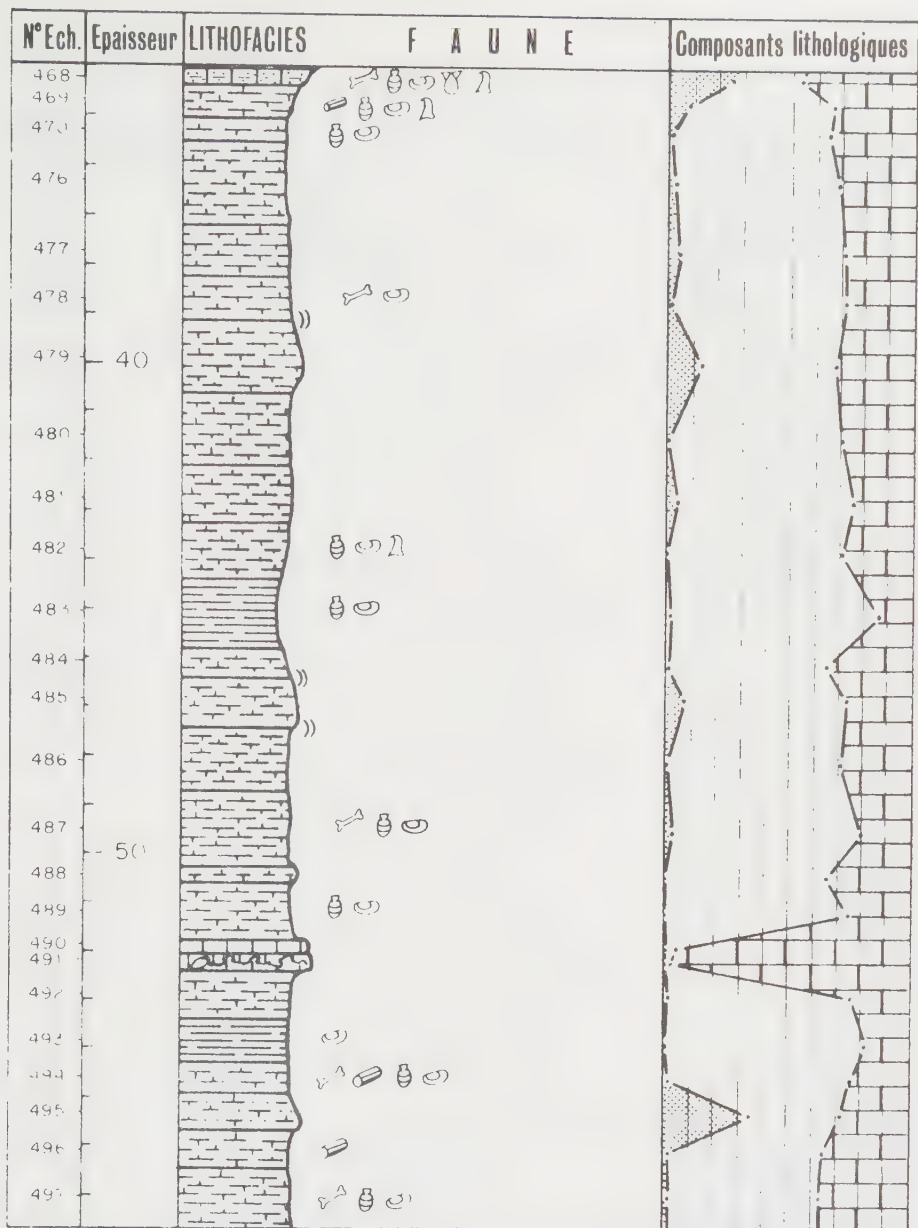


PLANCHE 12 B

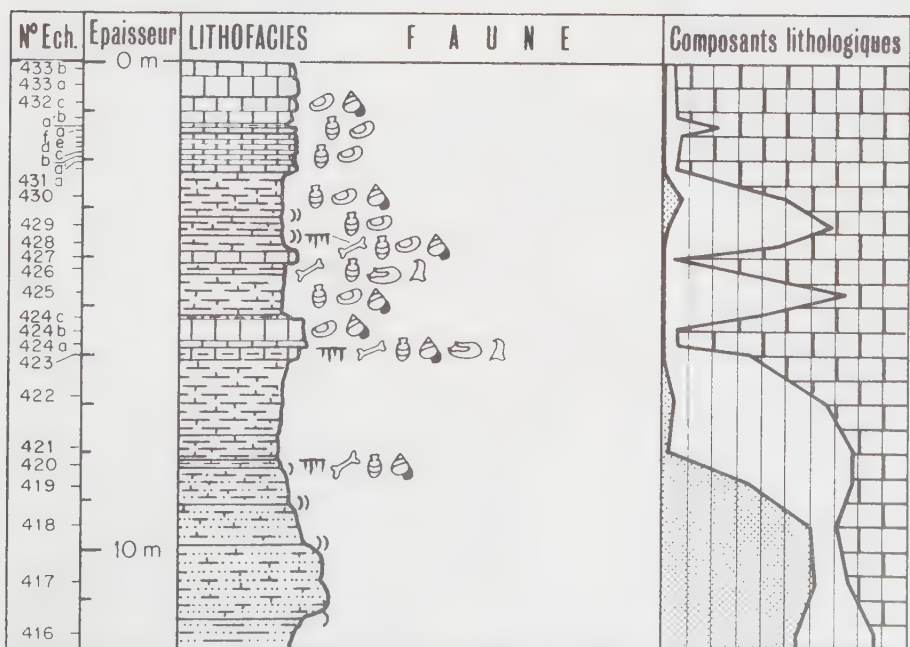


PLANCHE 13

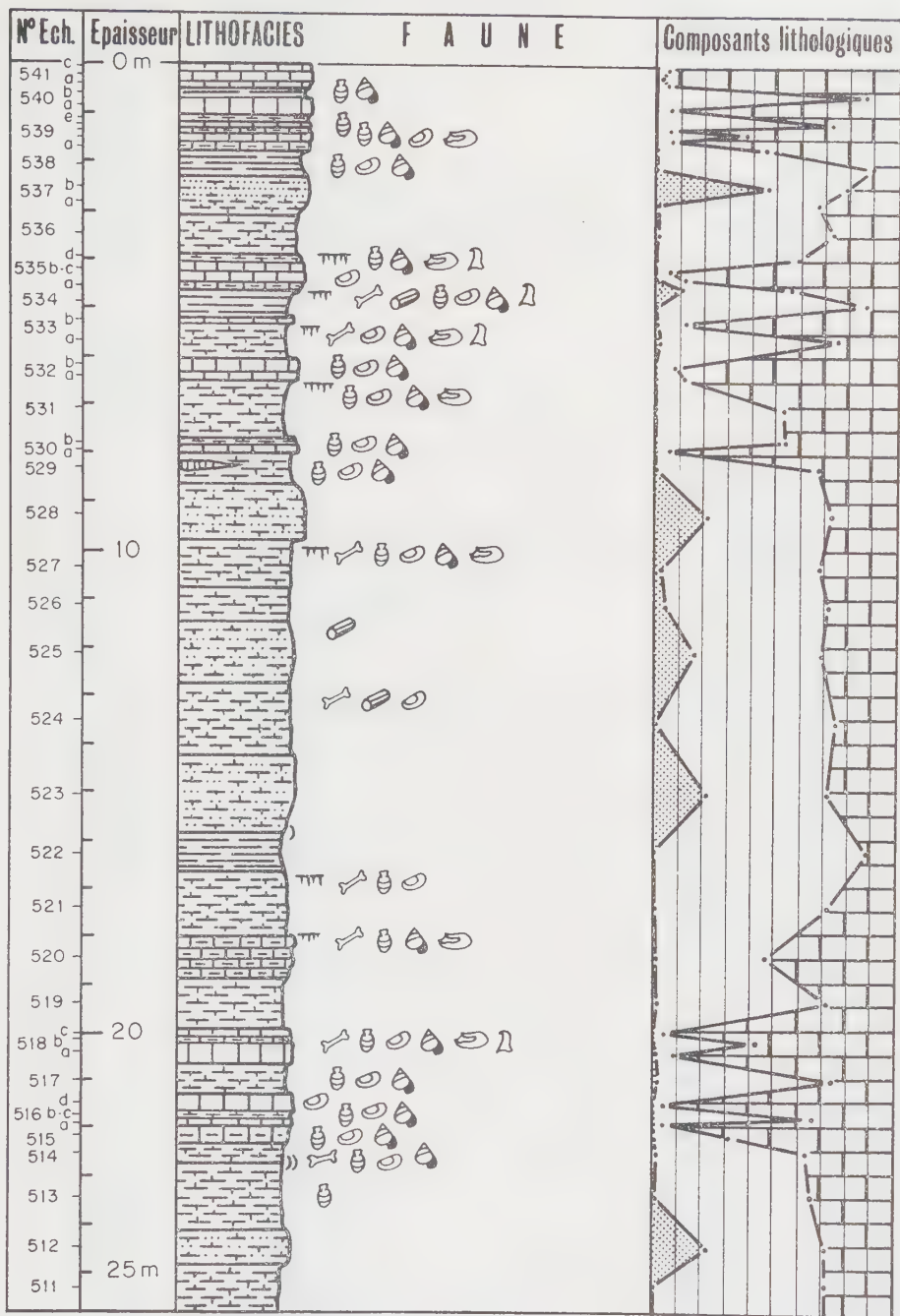
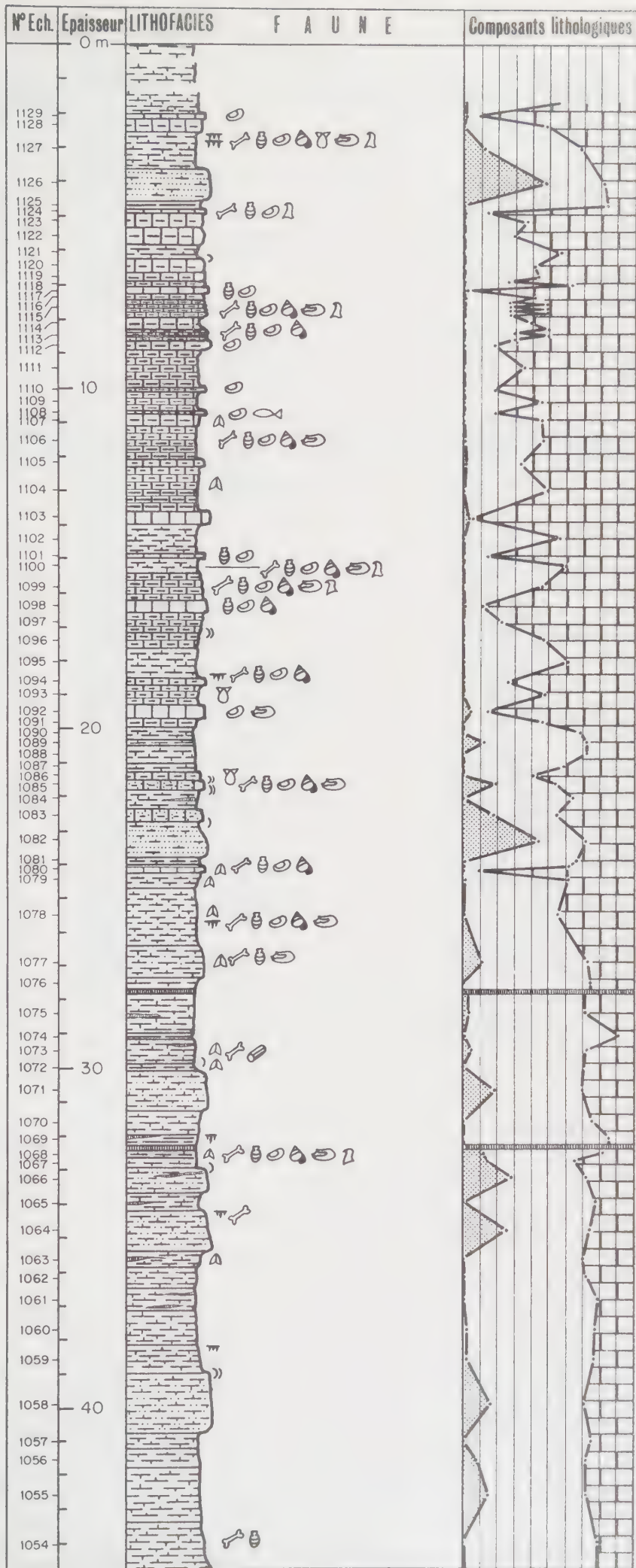
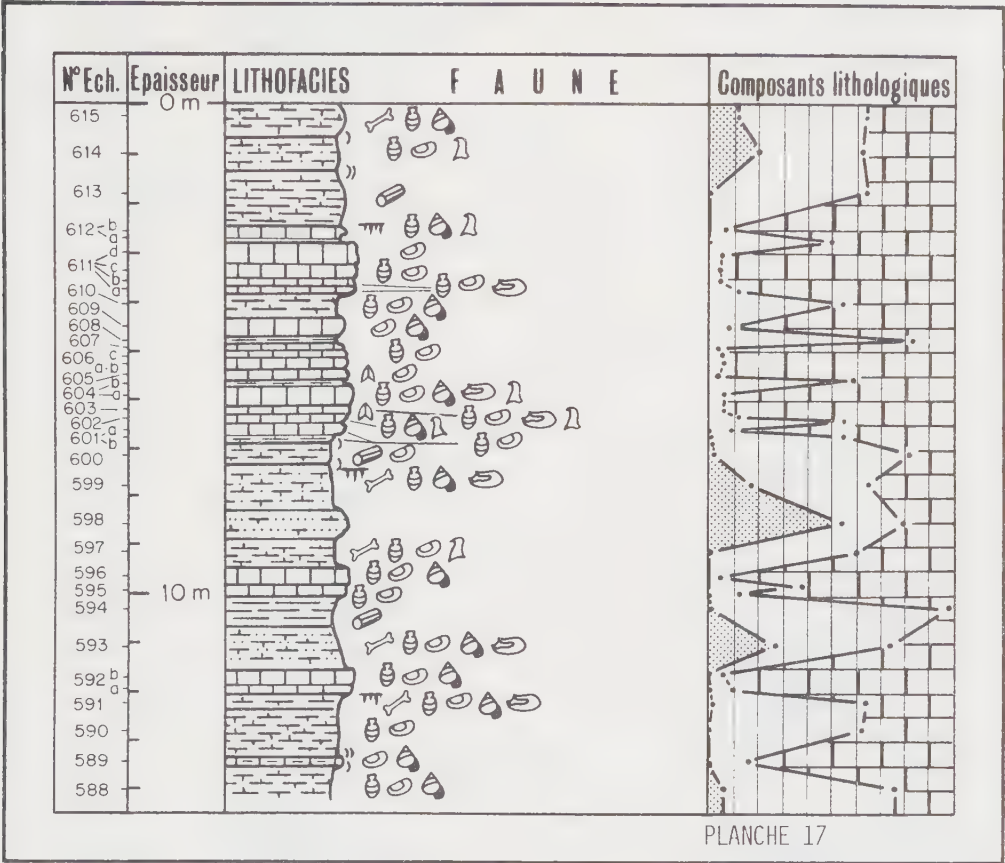
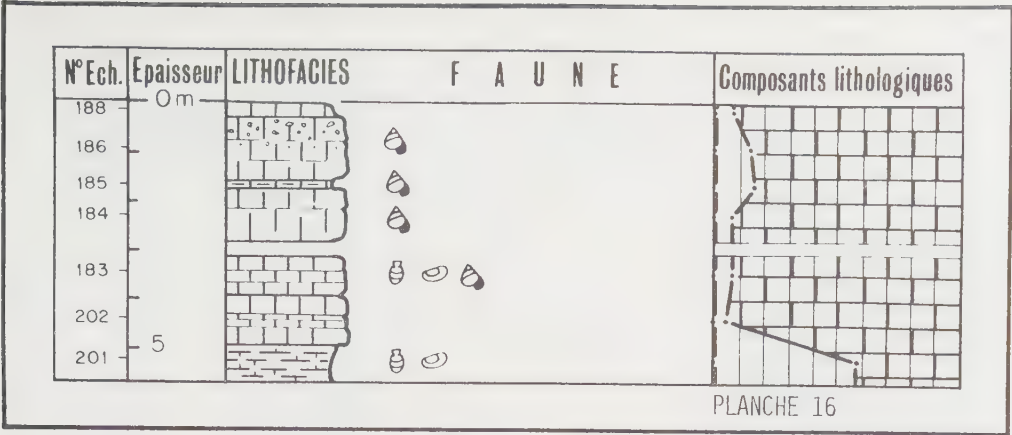


PLANCHE 14





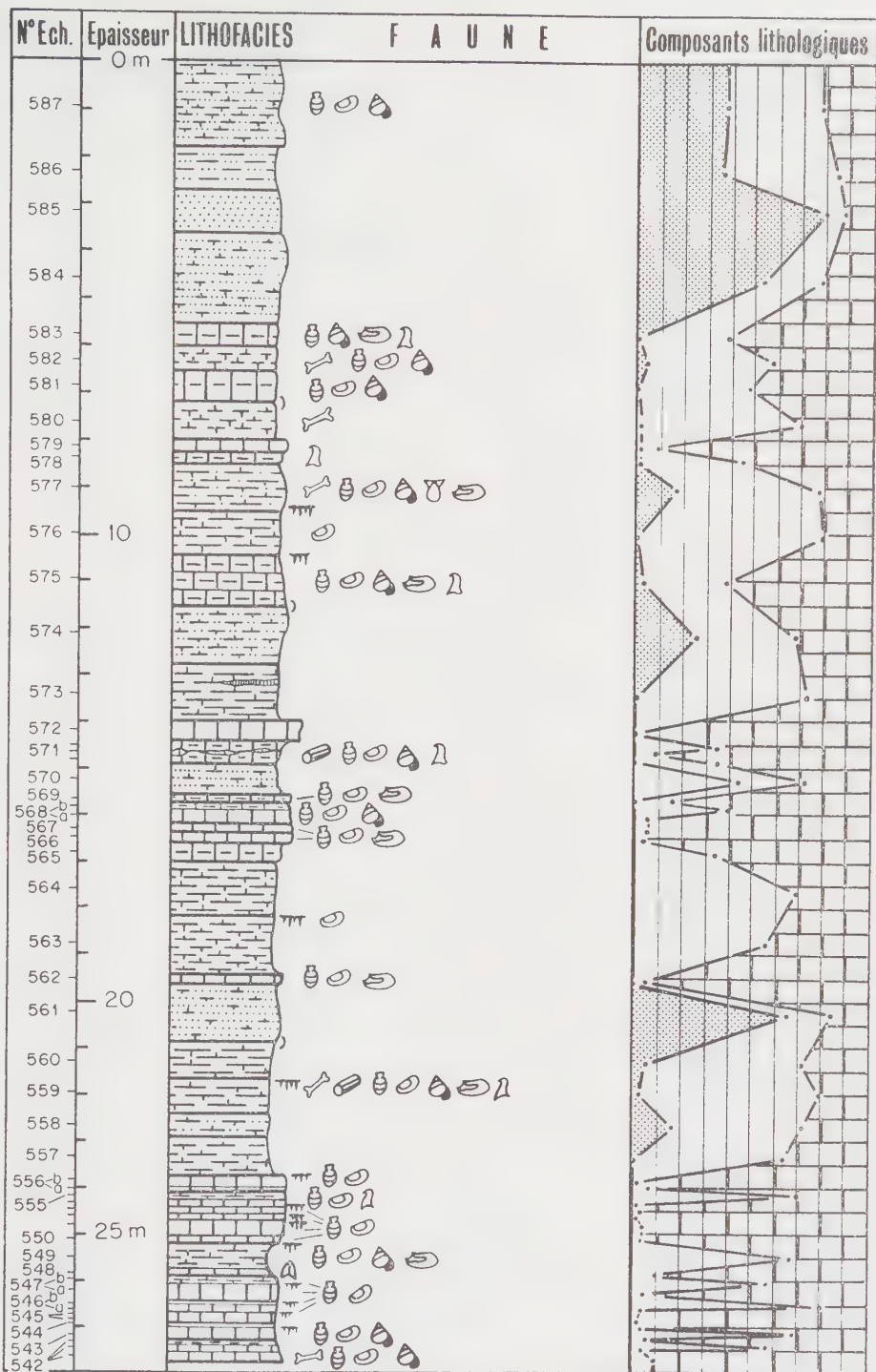
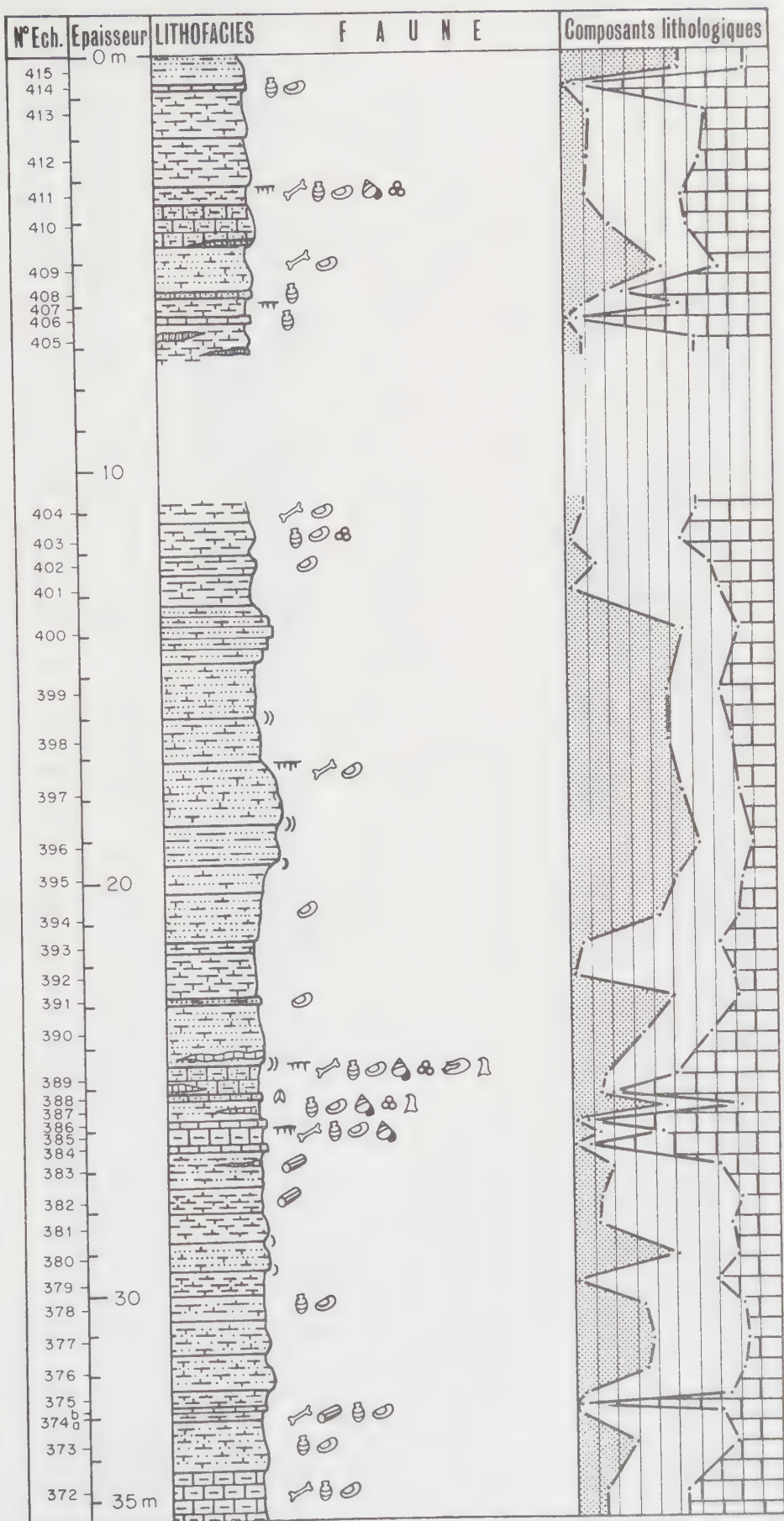
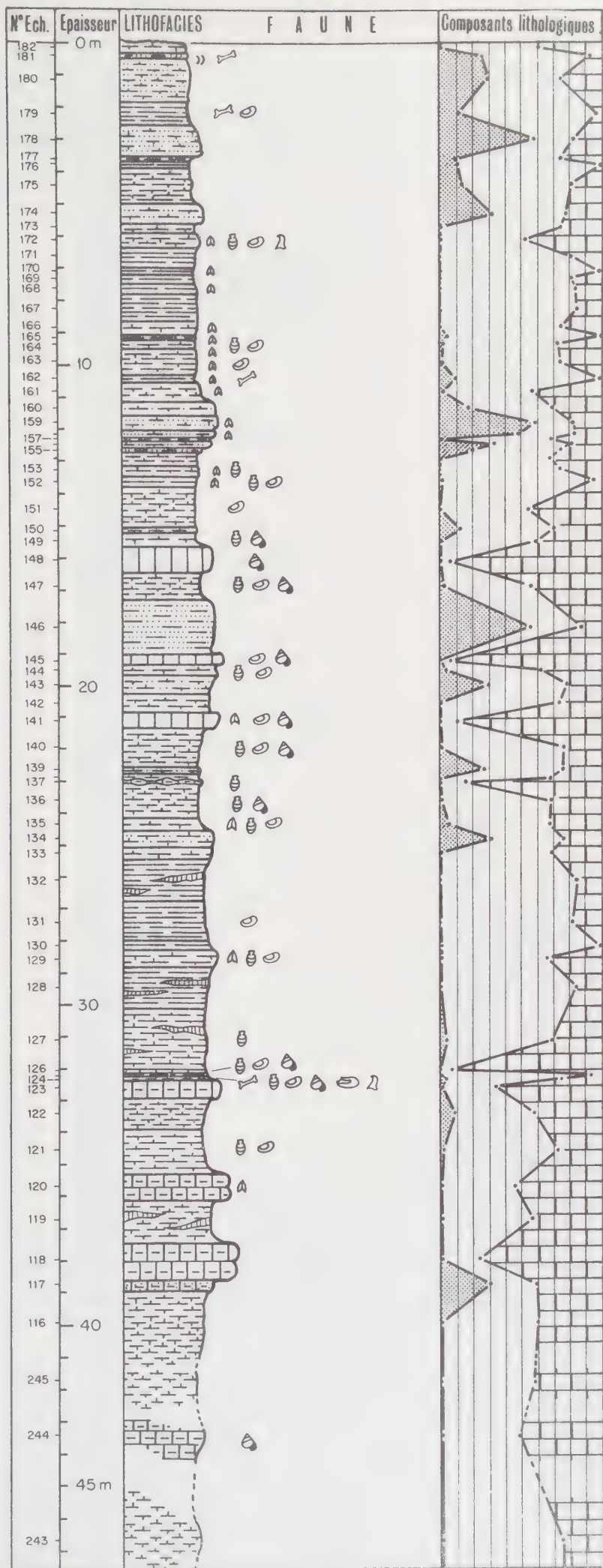


PLANCHE 18





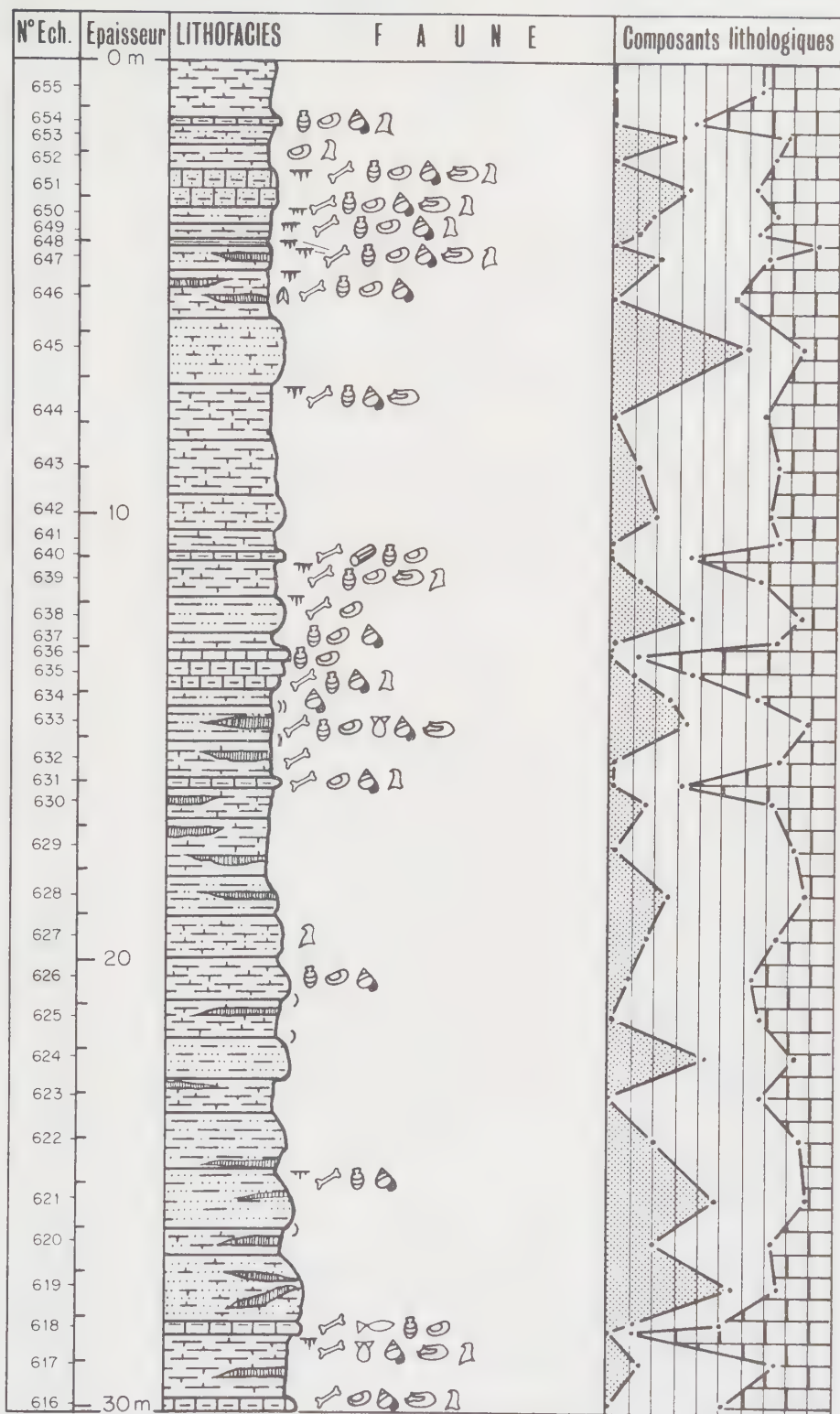
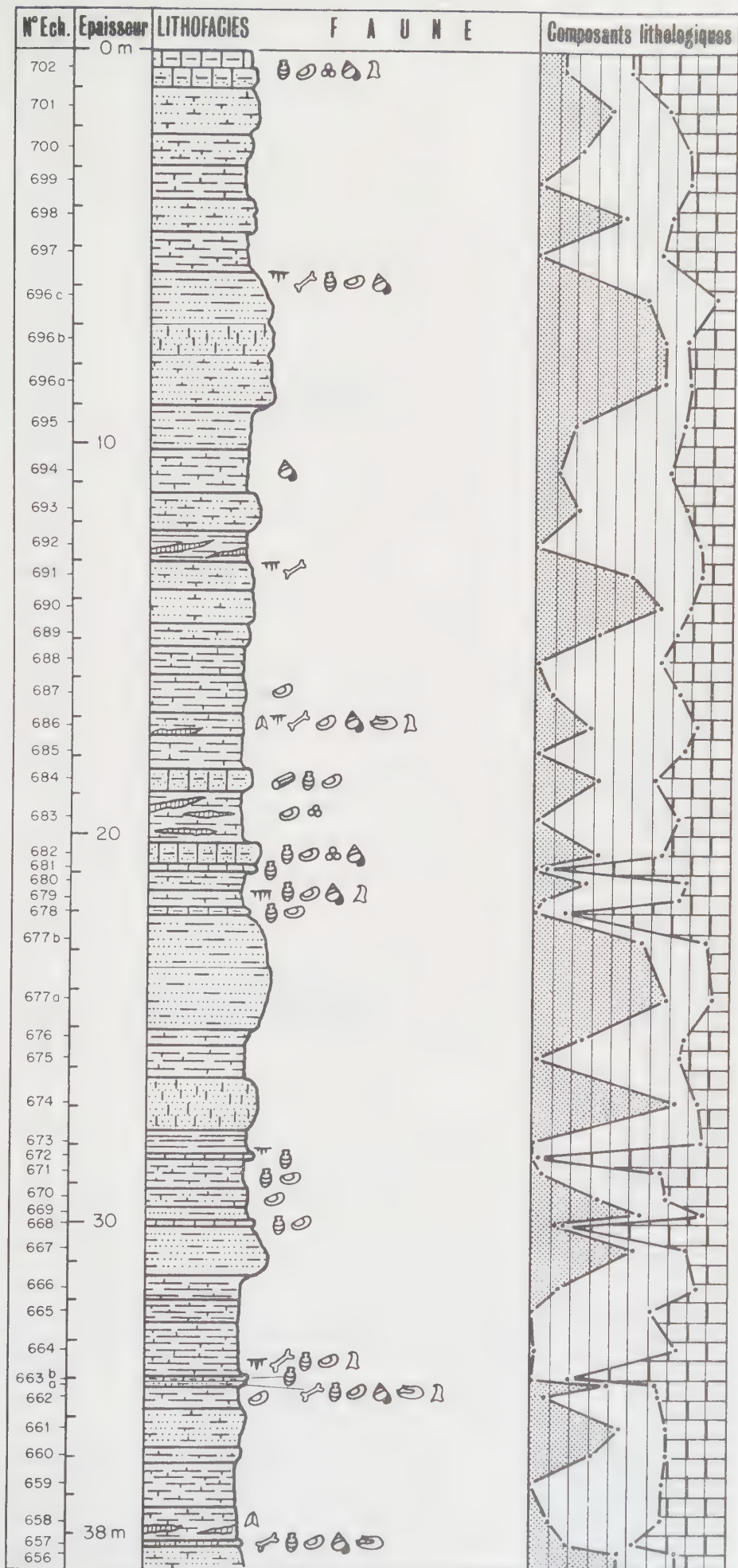


PLANCHE 21



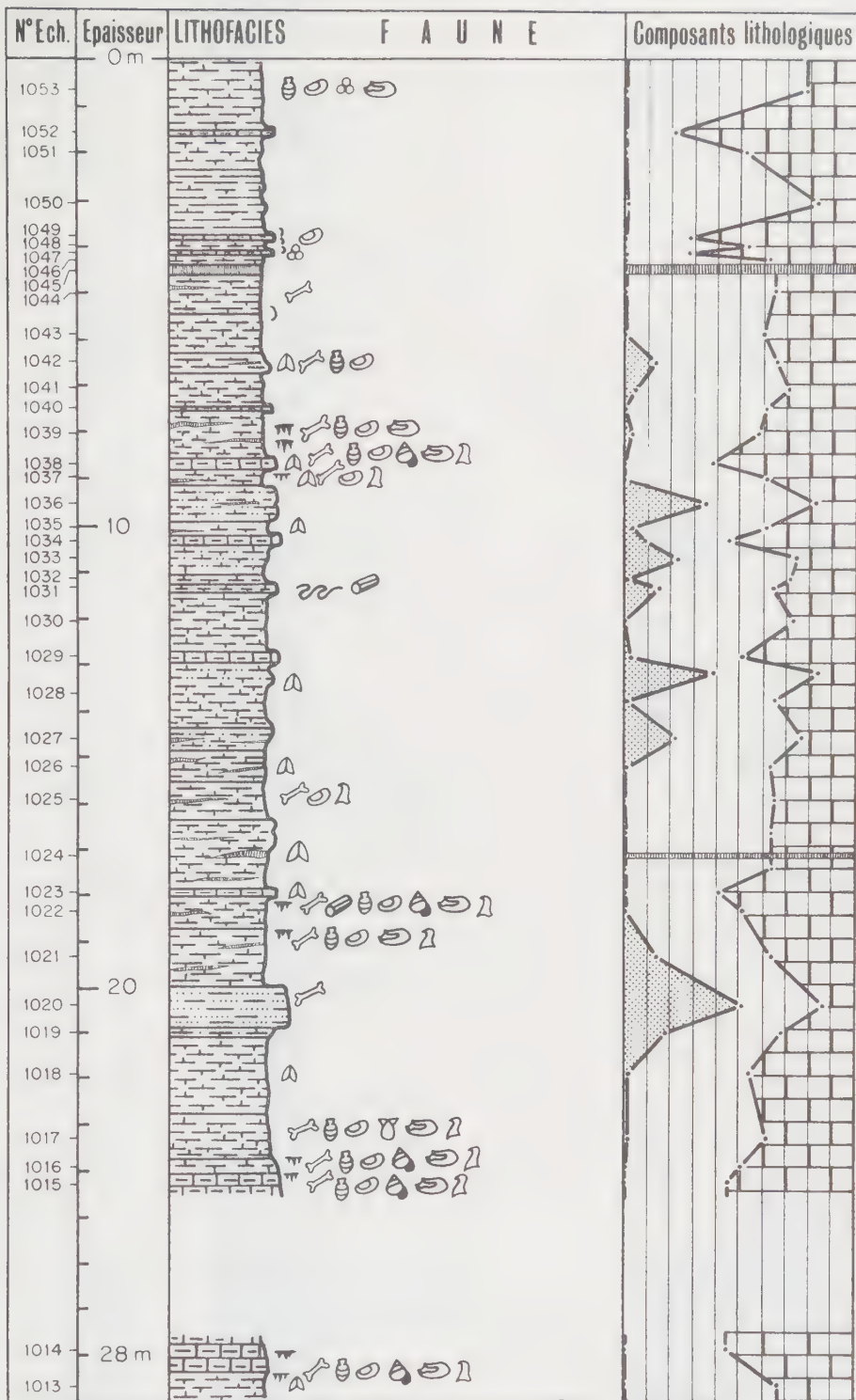


PLANCHE 23

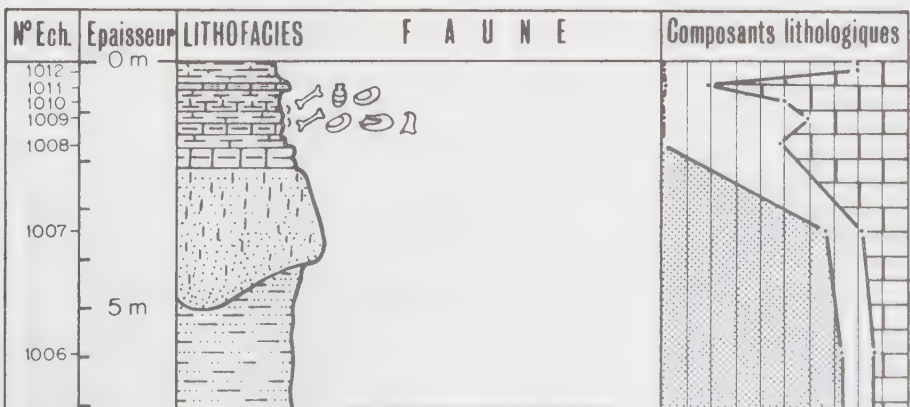
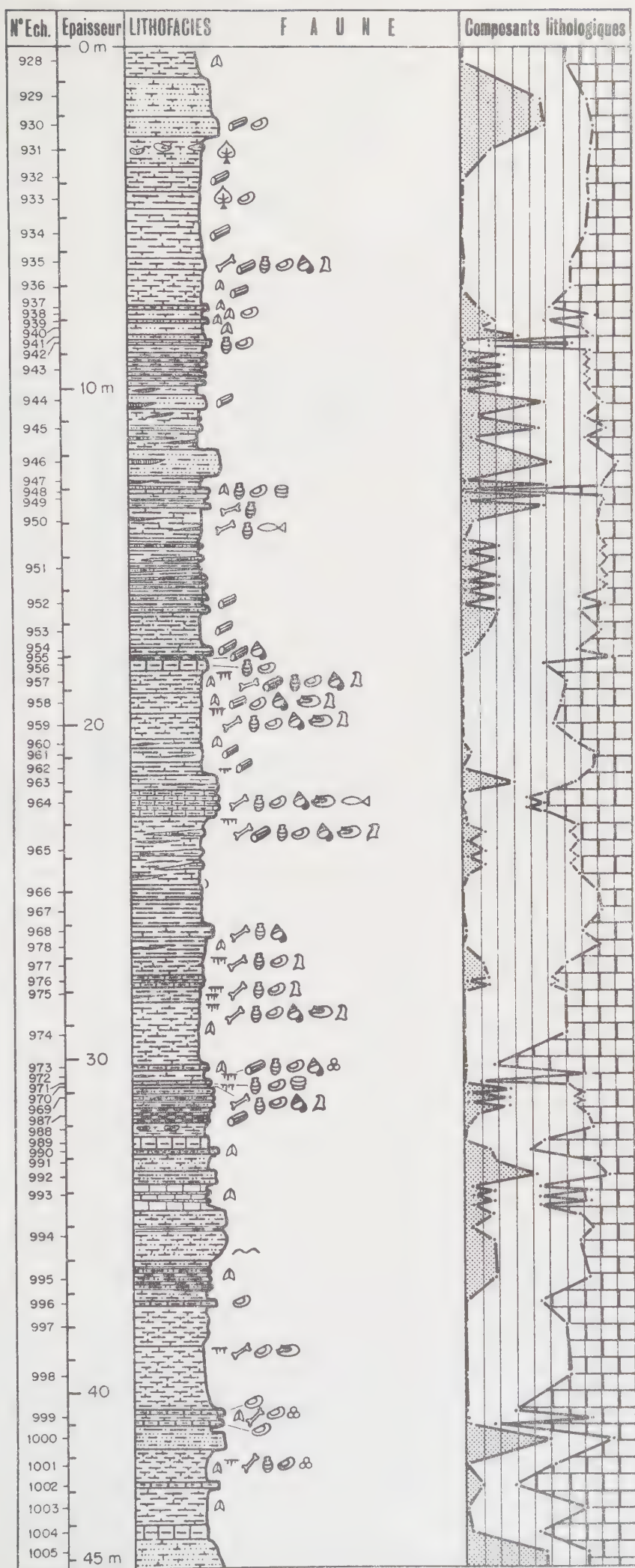
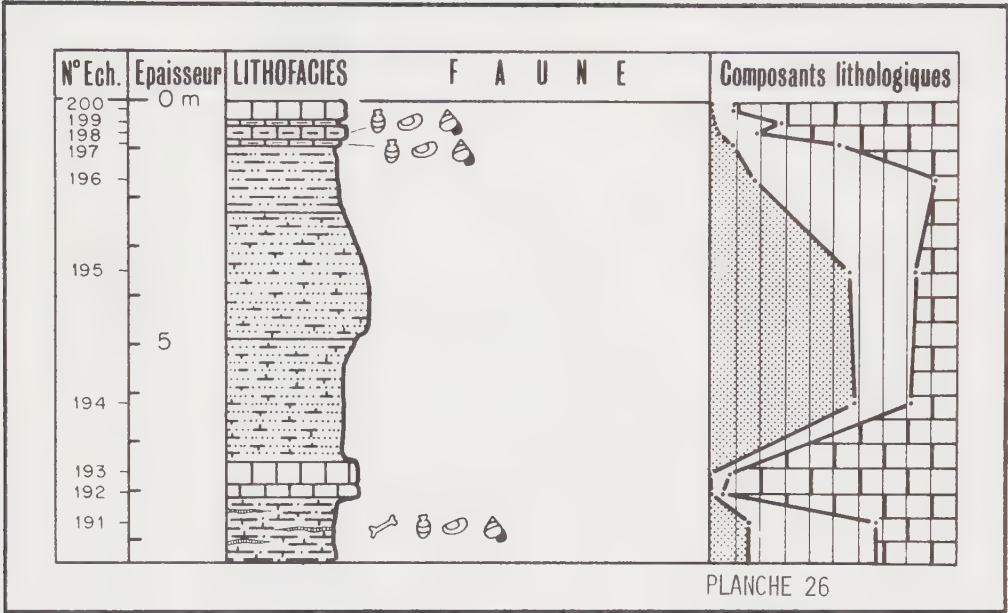


PLANCHE 24





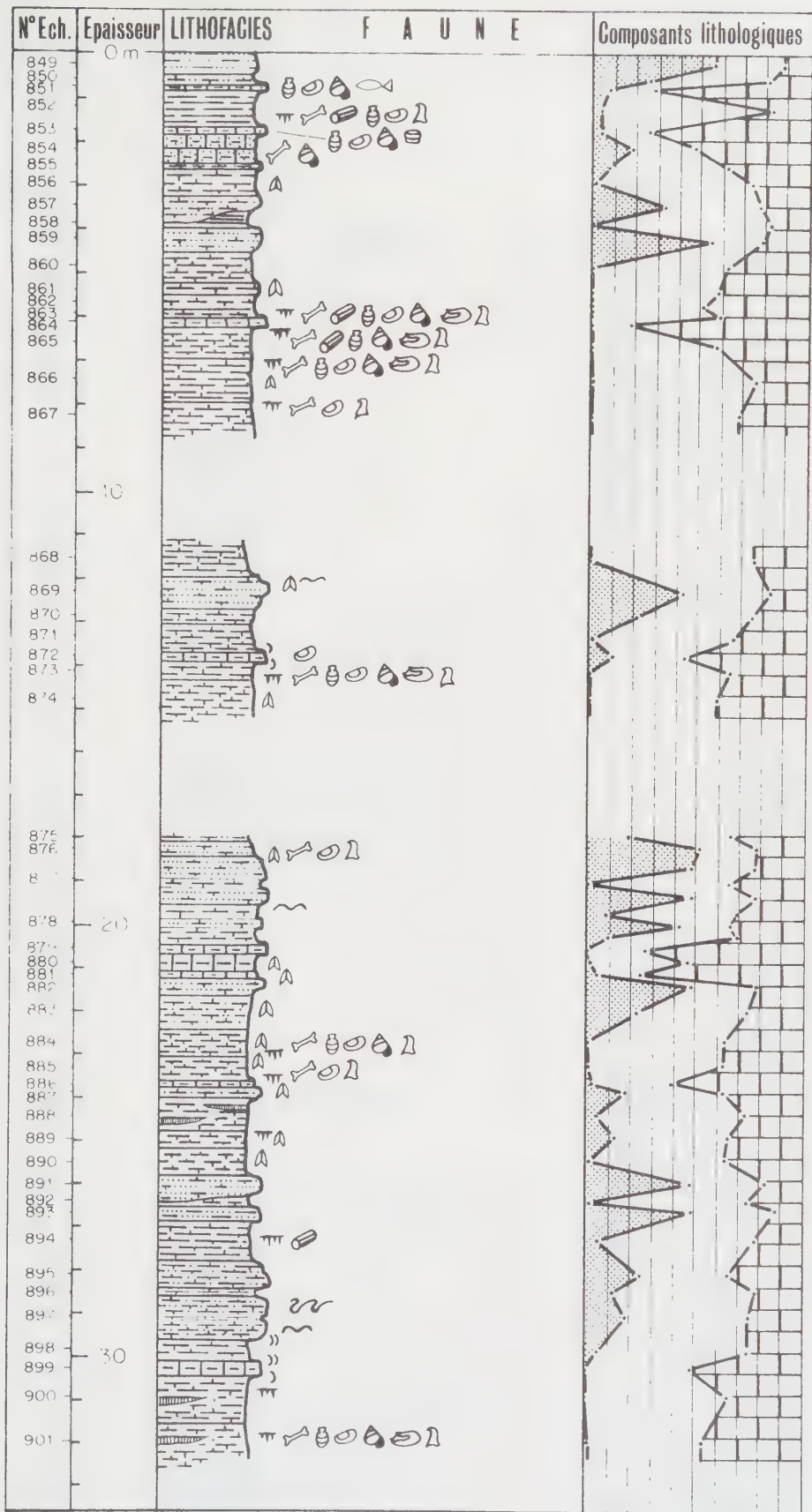
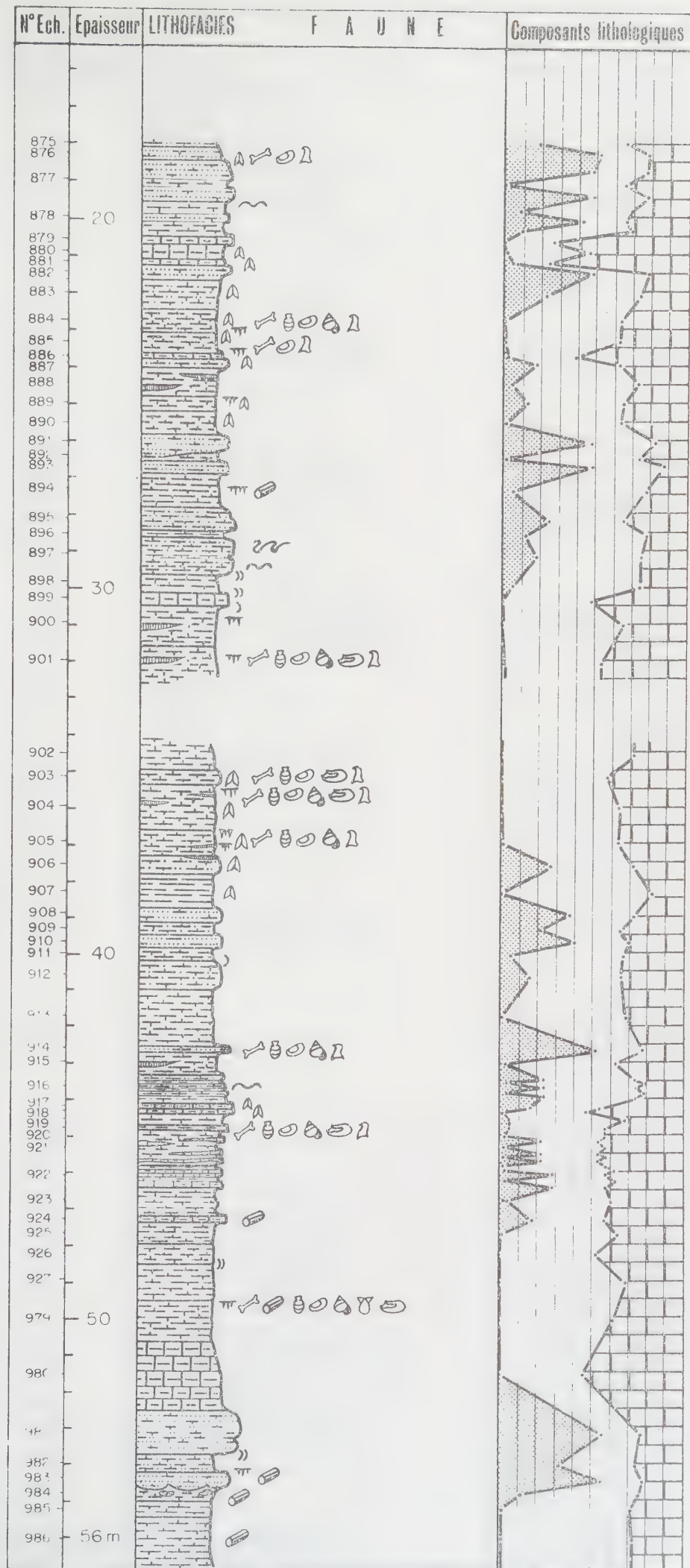
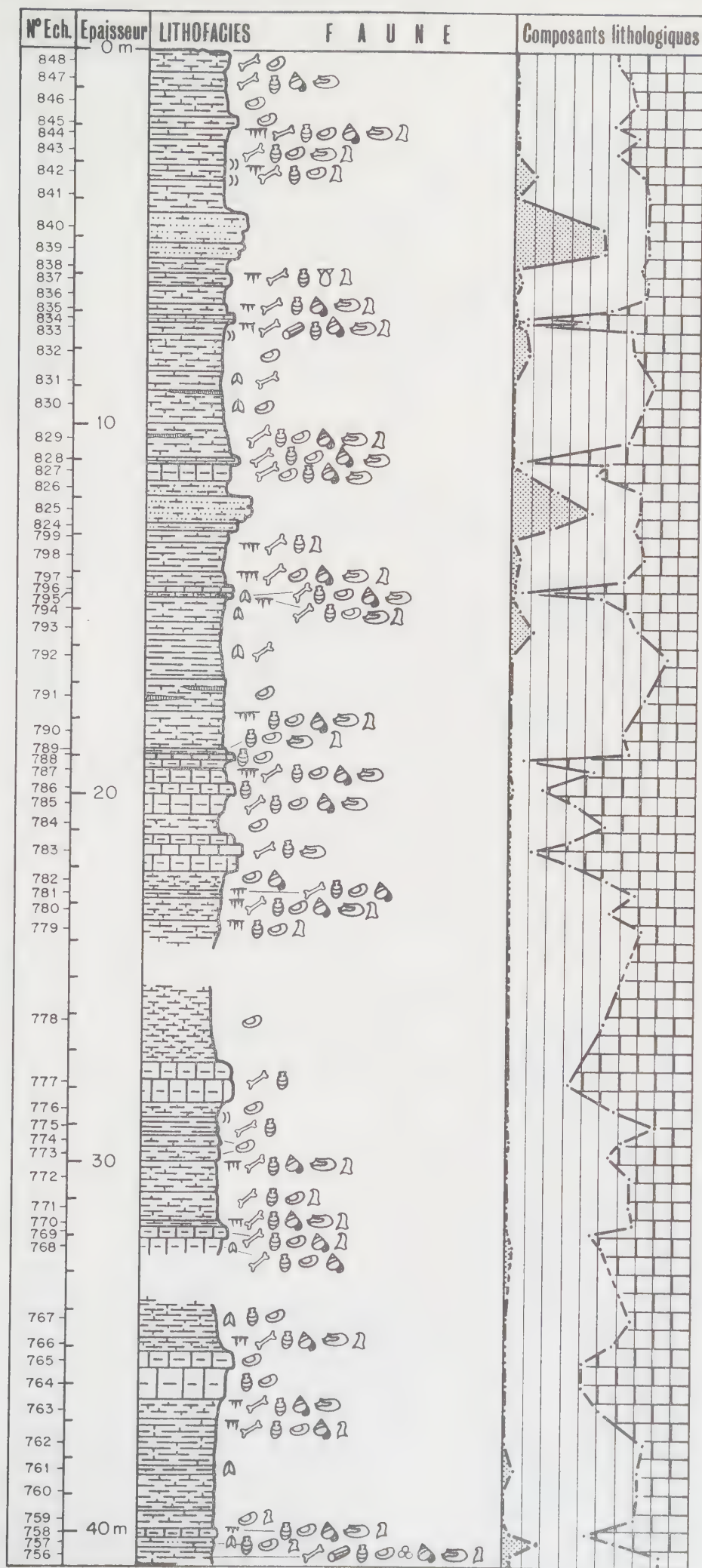


PLANCHE 27 A





HISTOGRAMMES

LITHOFACIES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 TOTAL

COUPES

WASSONGY

BOUDRY

LA MORGES

ESSENTINES

BOUDRY

DELMONT
BOUDRY

VALEYRES 1/2 RANGES

ESSENTINES

LA MORGES

ESSENTINES

CÔTES DE CALAMIN

VALEYRES 1/2 RANGES

LA MORGES

VERMONT

GOUMDENS-LE-JUX

EGLEPENS

A GYPSE

GRES ET MARNES

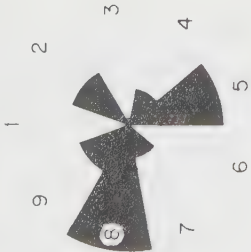
DOLOMIE

CALCAIRES

MARNES

DIAGRAMMES DES COULEURS

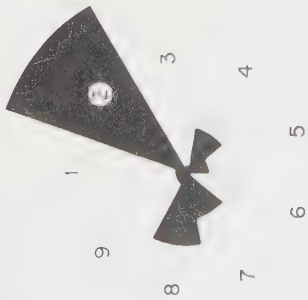
A] MASSONCY
756-793-824-848



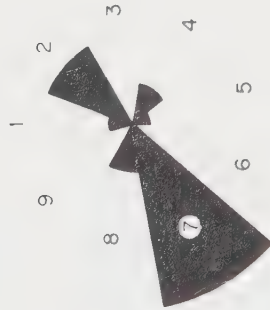
B] BOUDRY
116-235



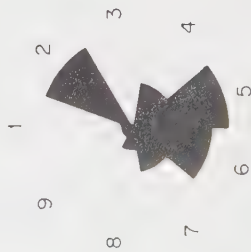
E] BELMONT
372-415



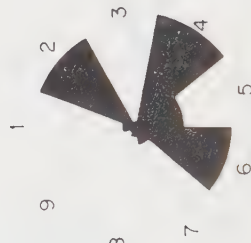
F] ESSERTINES
588-612



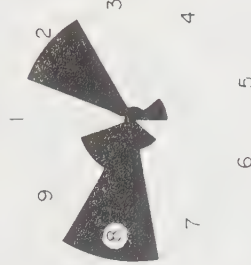
I] LA MORGES
1130-1168+1220-1235



J] SOUS VERMONT
387-337



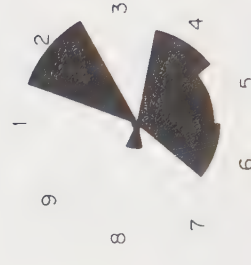
G] LA MORGES
845-1039



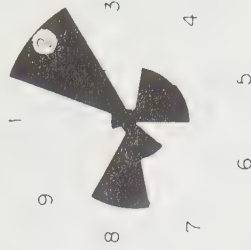
G] LA MORGES
1080-1129



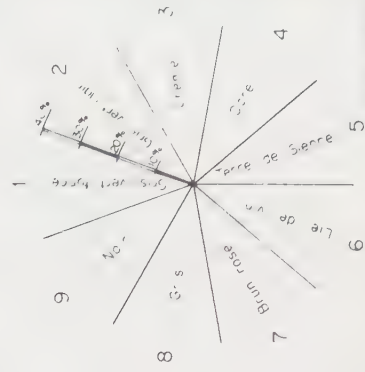
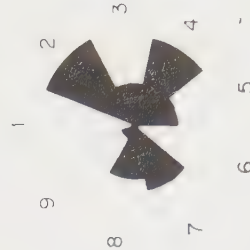
K] ECLEPENS
256-306



D] ESSERTINES
357-587-613-702



H] CÔTES DE CALAMIN
338-371



SEQUENCES ET CYCLES

ESSERTINES

GRES ET MARNES
GRIS A GYPSE

BOUDRY

GRES ET MARNES
GRIS A GYPSE

ESSERTINES

CALCAIRES D'EAU DOUCE
ET DOLOMIE

VALEYRES S/RANCES
ECLEPENS
MORGES

MARNES
BARIOLEES S.L.

PAUDEX-BELMONT

MOLASSE A CHARBON

LEGENDE

L'épaisseur des flèches est proportionnelle à l'importance de la transition considérée à l'intérieur du cycle.



Cycle principal



Cycle d'importance équivalente à celle du cycle principal ou cycle secondaire.



Niveau de charbon



Niveau palustre

①

Cette transition se retrouve avec la même importance dans les deux cycles.

Planche I

- 1 et 2. Essertines sur Yverdon. Banc 672, planche 22.
Calcaire du type 1 ou calcaire concrétionné. La roche contient en outre quelques débris d'algues et des carapaces d'ostracodes.
- 3 et 5. Côtes de Calamin. Banc 368 b, planche 10.
Calcaire mixte entre les types 1 et 2. En plus d'un concrétionnement quelquefois assez flou, on note de nombreux fragments d'algues.
- 4 et 6. Côtes de Calamin. Banc 352, planche 10.
Calcaire du type 1 présentant, d'une façon assez prononcée, des caractères du type 2. On note en effet, en plus du concrétionnement, des fragments de coquilles parallèles au litage. Il apparaît des grains de quartz en nombre restreint et dont le diamètre moyen maximum n'excède pas 75 microns.

Planche II

1. Essertines sur Yverdon. Banc 606 a, pl. 17.
Calcaire de type 2 à coquilles de lamellibranches et carapaces d'ostracodes.
2. La Morges. Banc 964, pl. 25.
Calcaire mixte entre les types 2 et 3.
Se rapporte au type 2 par la présence de fragments de coquilles, de carapaces d'ostracodes et de filaments allongés (Algues ?). D'autre part, la présence d'intraclastes allongés et alignés le rattache aussi au type 3. Les rosettes de gypse, postérieures au dépôt, ne présentent pas d'orientation préférentielle.
- 3 et 4. Belmont. Banc 374 b, pl. 19.
Calcaire de type 2 à tiges et oogones de charophytes. Présente par places un léger concrétionnement.
5. Valeyres-sous-Rances. Banc 439 a, pl. 12 A.
Calcaire de type 4 dont les éléments figurés sont des fragments de très petite taille de tests de mollusques. La matrice est argilo-micritique très faiblement gréseuse.
6. Massongy. Banc 783, pl. 28.
Calcaire de type 4 dont les éléments figurés sont des débris de tests de mollusques. La matrice est micritique, argileuse, riche en matière organique.

Planche III

1. Boudry. Banc 200 c, planche 26.
Calcaire du type 4 à matrice biomicritique un peu argileuse comportant quelques intraclastes.
2. Massongy. Banc 783, planche 28.
Calcaire du type 4 dont les éléments figurés sont des débris de tests de mollusques. Matrice micritique argileuse riche en matière organique, coupée par des veinules de calcite.
3. Boudry. Banc 186, planche 16.
Calcaire du type 5 dont les éléments figurés sont des "intraclastes" de divers types pris dans une matrice micritique argileuse, très faiblement gréseuse et partiellement microvacuolaire.
Voir aussi la légende de la figure 1, planche VI en ce qui concerne la description des divers types d'intraclastes.
4. La Morges. Banc 1117, planche 15.
Calcaire dolomitique à caractère mixte entre les types 4 et 5.
Les éléments figurés étant représentés par des carapaces d'ostracodes à valves séparées (type 4) et à valves jointes (type 5).
5. La Morges. Banc 1098 b, planche 15.
Calcaire à caractère mixte entre les types 2 et 5, les fragments de tests étant plus ou moins alignés (type 2) dans une matrice micritique riche en intraclastes relativement sphéroïdes. (type 5).
6. Essertines. Banc 541 a, planche 14.
Calcaire du type 6 à structure "brouillard". Pâte micritique microbiodétritique.

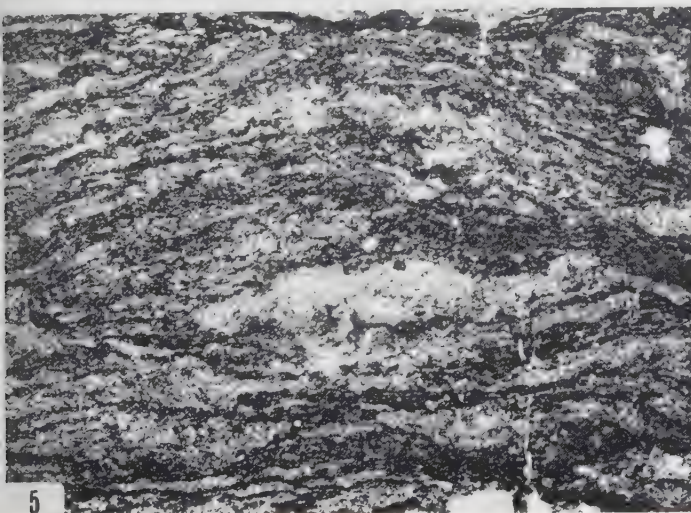
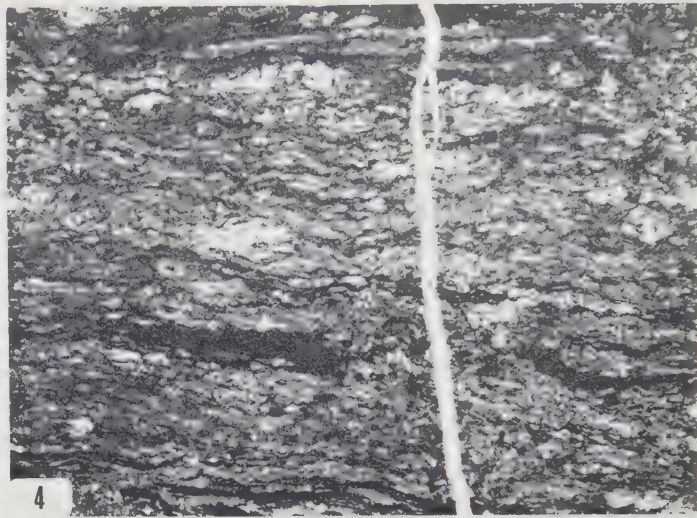
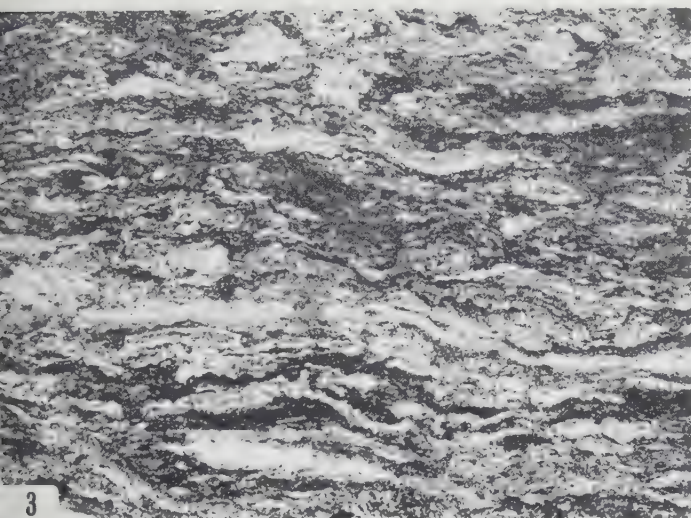
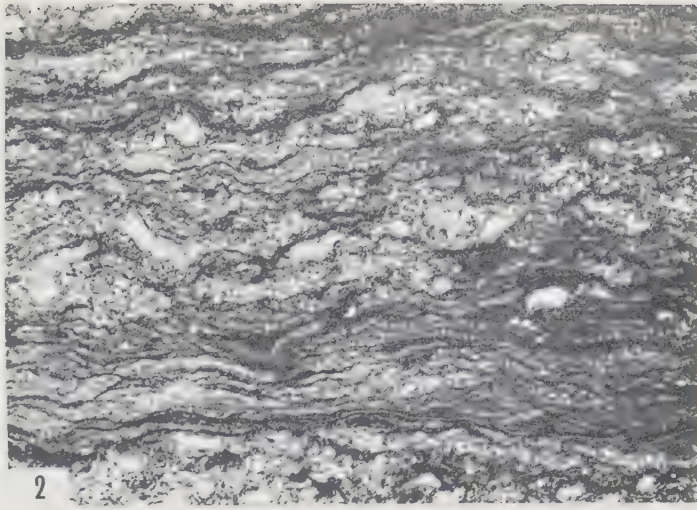
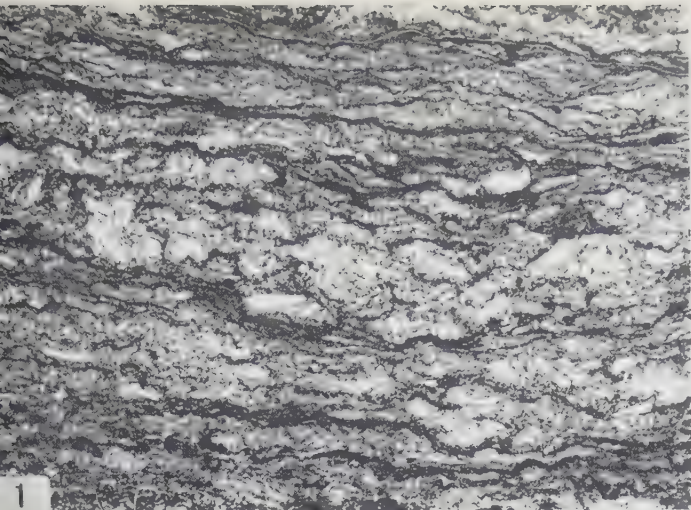
Planche IV

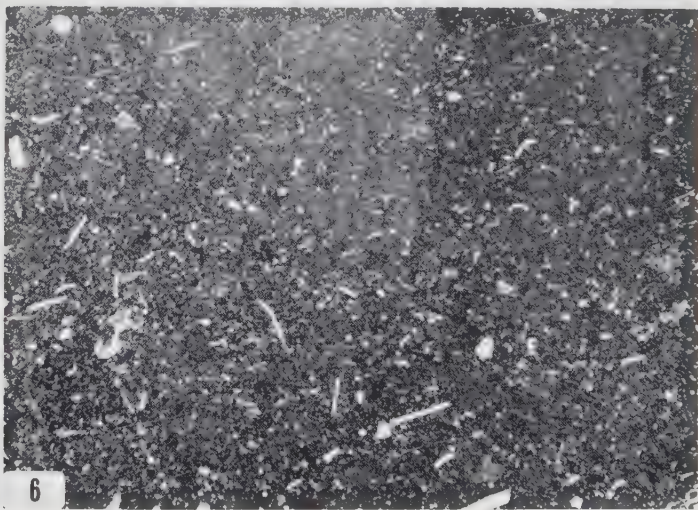
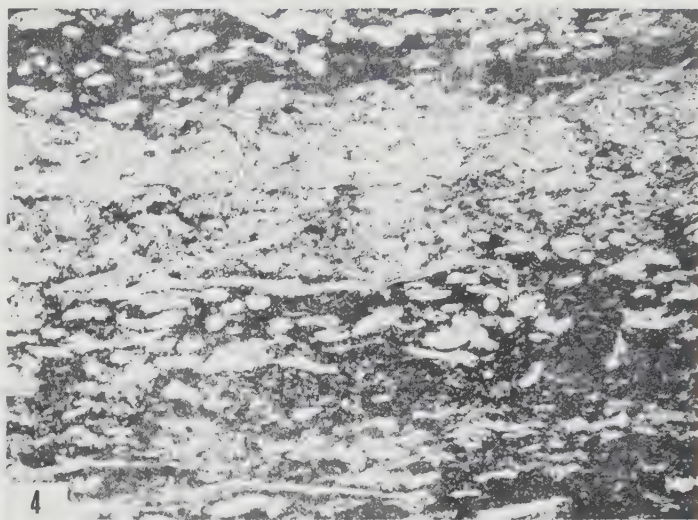
1. Boudry. Banc 141, planche 20.
Calcaire du type 4 dont les éléments figurés sont des tests ou fragments de tests recristallisés de gastéropodes (Planorbe). La matrice est micritique, très finement biodétritique et peut-être bioturbée.
- 2 à 4. Boudry. Banc 189, équivalent latéral des bancs de la partie supérieure de la planche 16.
Calcaire de type mixte entre les types 4 et 5. Les fragments d'algues pouvant être soit relativement allongés, soit, au contraire, assez ramassés. On note en outre la présence de nombreux gastéropodes (Limnées, Planorbes) et d'ostracodes.
5. Essertines. Banc 663 b, planche 22.
Calcaire à algues de type 2 à tendance 4 par places. A plus fort grossissement, on pourrait observer de nombreux organismes cylindriques souvent concentrés en grappes et rapportés à des diatomées ou à des algues filamenteuses suivant les auteurs.
6. Boudry. Banc 188, planche 16.
Calcaire de type 8 constitué de pellets à contours flous et d'intraclastes. L'échantillon est traversé par un terrier rempli de pellets cimentés par de la sparite. La roche renferme d'assez nombreux gastéropodes.

Planche V

1. Boudry. Banc 188, planche 16.
Agrandissement du terrier de la figure 6 planche IV. La matrice est un calcaire de type 8. 20 X.
2. Essertines. Banc 571, planche 18.
Calcaire du type 1 avec pseudo-bird eyes.
3. Boudry. Banc 184, planche 16.
Calcaire de type 8 à ciment partiellement constitué de calcite spathique.
Très nombreuses vacuoles remplies de sparite (Pseudo-bird eyes).
4. Boudry. Banc 184, planche 16.
Agrandissement de quelques pseudo-bird eyes de la figure 3. 15 X.
5. Côtes de Calamin. Banc 360 b, planche 10.
Calcaire de type 1 montrant de nombreuses vacuoles tapissées de calcite (druses). Certaines de ces vacuoles sont probablement dues à l'éclatement de bulles dans le sédiment encore mou.
6. Essertines. Banc 618, planche 21.
Calcaire de type mixte entre 6 et 8, compris entre deux zones de calcaire concrétionné (type 1).

Sauf indication contraire, le grossissement général pour toutes les planches est de 10 X.





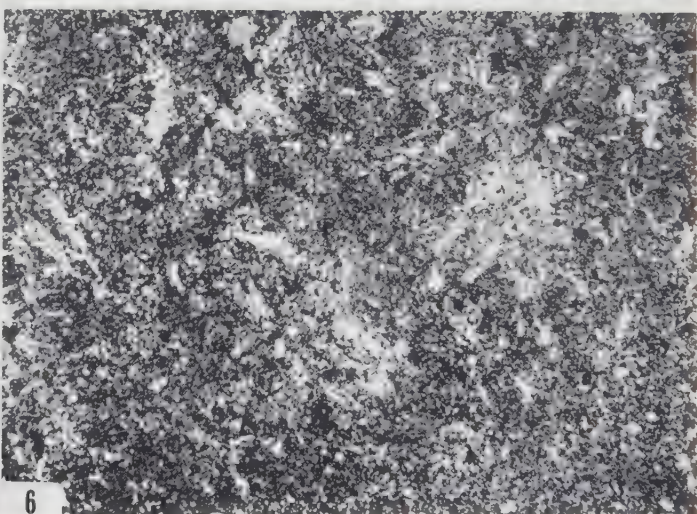
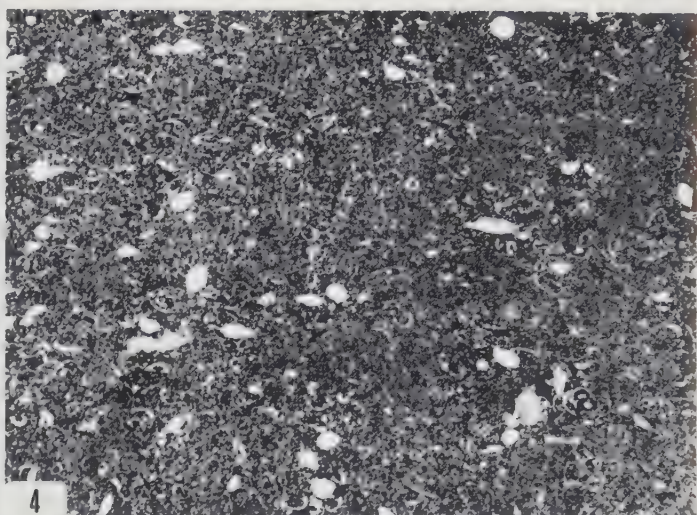
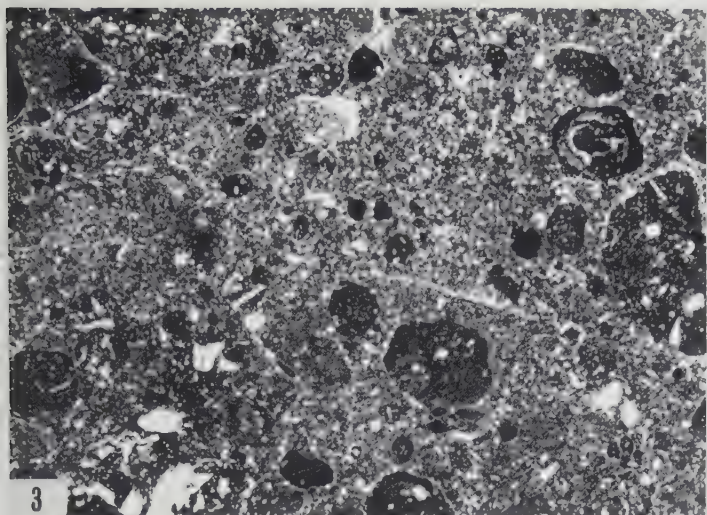
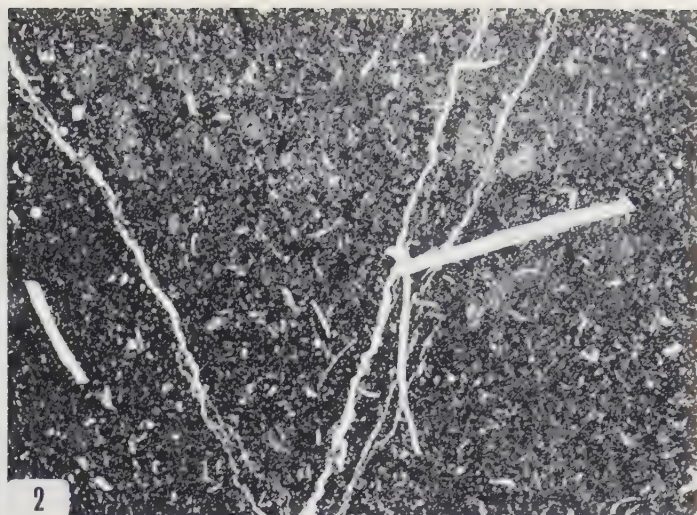
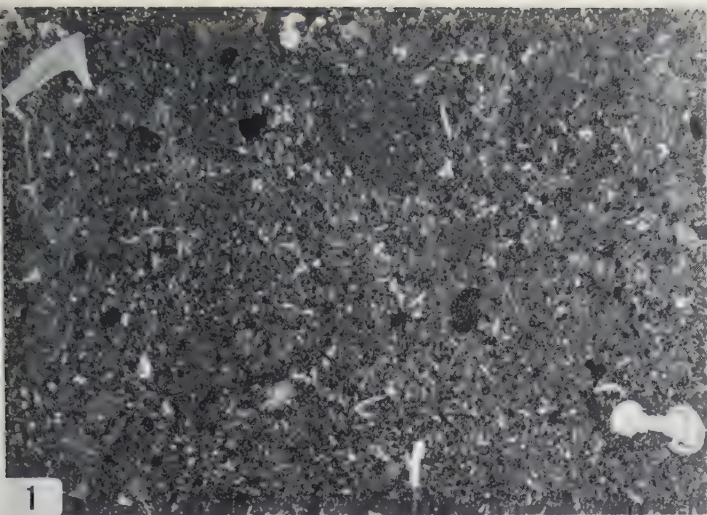


Planche III

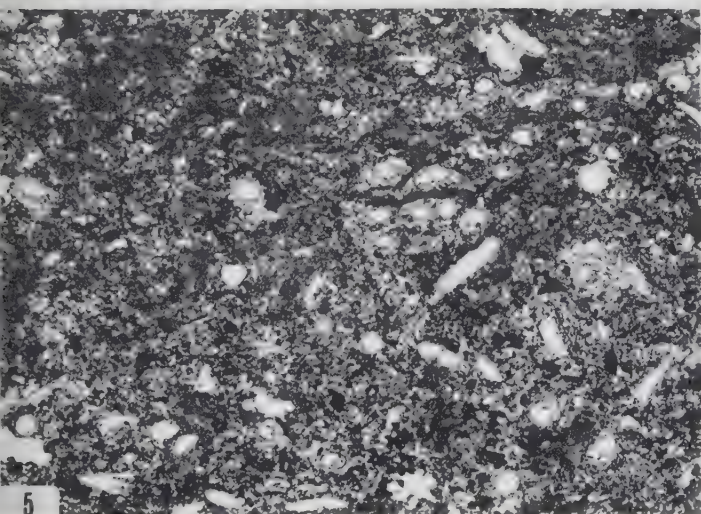
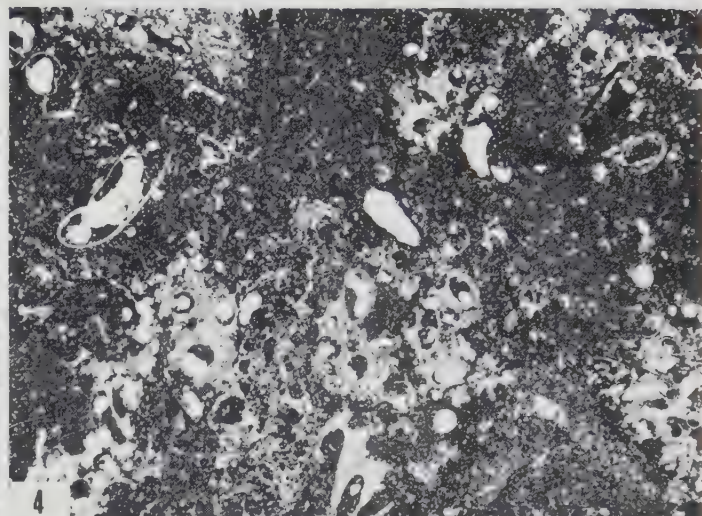
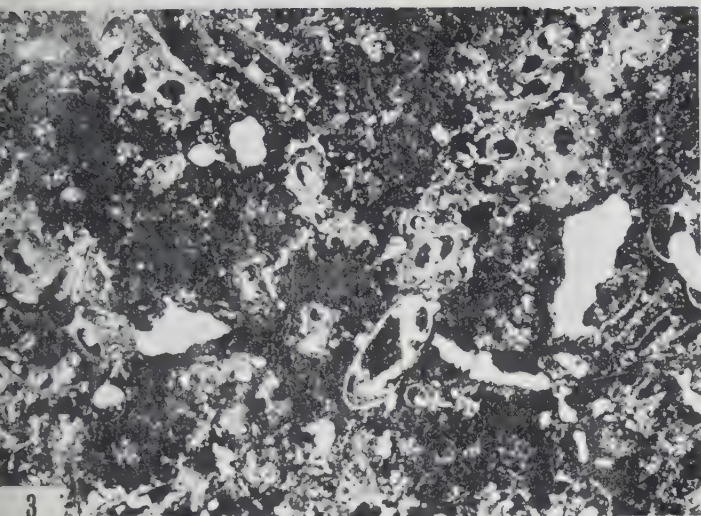
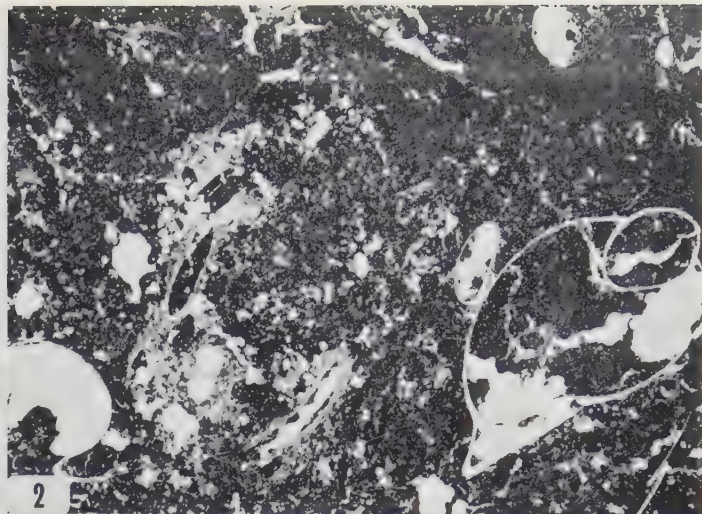
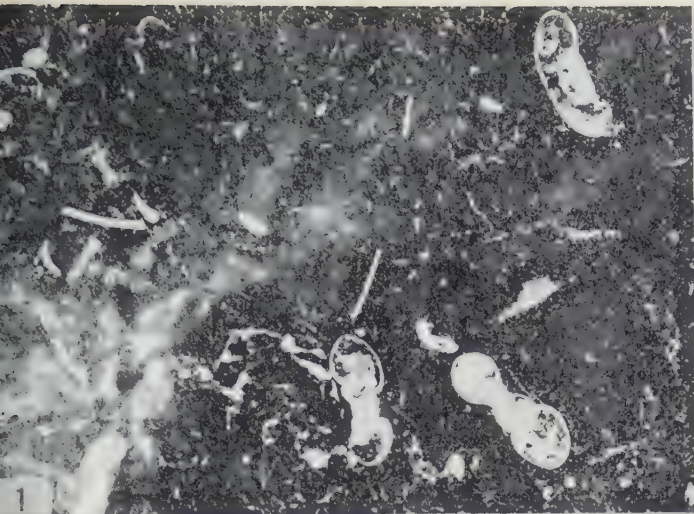


Planche IV

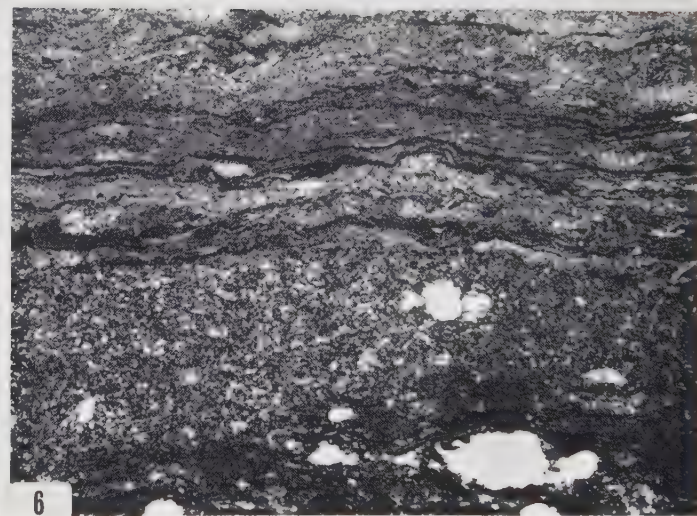
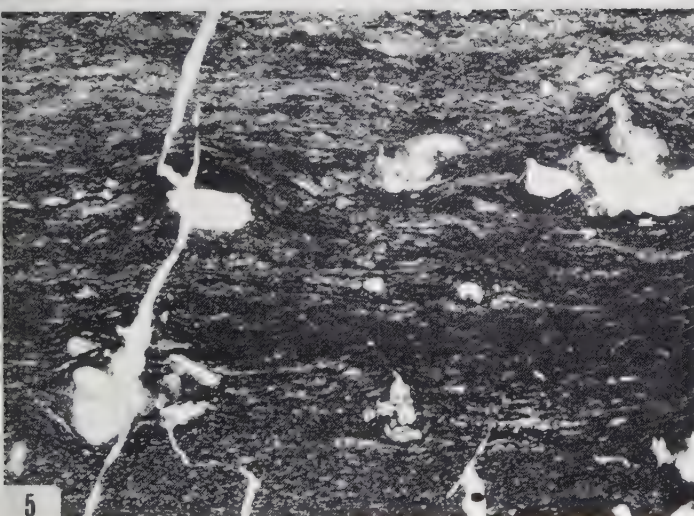
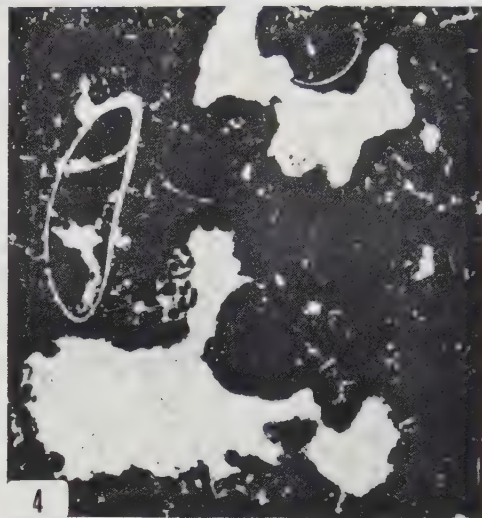
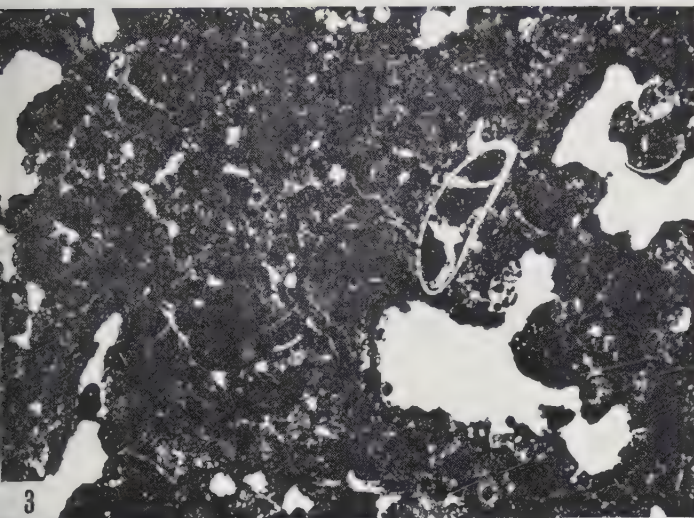
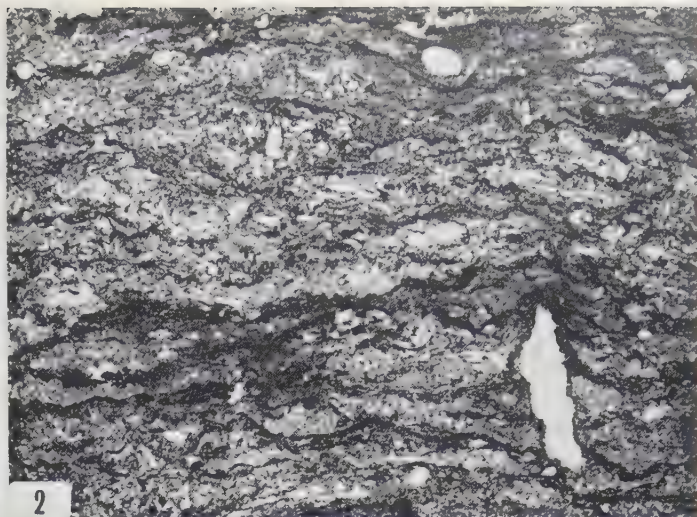
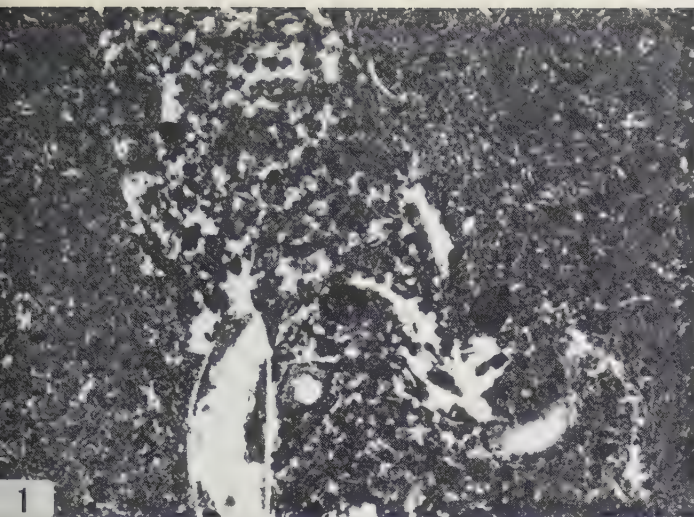


Planche V

Planche VI

1. Boudry. Banc 186, planche 16.
Calcaire de type 5 comportant deux types principaux d'"intraclastes".
 - Intraclastes s. str. c'est à dire de composition identique ou très voisine de celle de la matrice (a).
 - Intraclastes "allochtones" ou lithoclastes, c'est à dire fragments provenant de sédiments mollassiques antérieurs, pouvant présenter des fentes de dessiccation et des auréoles de calcaire concrétionné (b).
2. Valeyres-sous-Rances. Banc 491, planche 12 B.
Partie inférieure gauche : calcaire micritique (type 7) avec quelques débris de coquilles, quelquefois parcouru de terriers, sur lequel s'est mis en place un calcaire micritique argileux présentant des figures d'écoulement (moitié supérieure gauche). La mise en place s'est opérée alors que le calcaire inférieur était encore mou.
- 3 à 4. Essertines. Banc 520, planche 14.
Calcaire marneux du type 4, à cristaux de gypse en majorité pseudomorphosés. La pseudomorphose est due en grande partie à la calcite et, pour une très petite part, à la célestine en cristaux aciculaires.
5. Essert-Pittet. Banc 432 a, planche 13.
Calcaire micritique argileux et gypseux. Le gypse se présente sous deux habitus.
 - Recristallisé en cristaux assez grands, limpides et enchevêtrés (a).
 - En aggrégats de petits cristaux séparés par de la micrite (b).
6. La Morges. Banc 964, planche 25.
Calcaire mixte entre les types 2 et 3 avec rosettes de gypse. Voir aussi la figure 2, planche II.

Pour toute la planche le grossissement est de 10X

Planche VII

Eucricetodon cf. praecursor (Schaub), "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 468, pl. 12.

1. M^1_d 2. M^2_g 3. M^2_d 4. M^1_d 5. M^2_g 6. M^2_g 7. M^3_g 8. M^3_g 9. M^3_d

Adelomyarion vireti HUGUENEY, "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 468, pl. 12.

10. M^1_g 11. M^2_d 12. M^3_d 13. M^3_g 14. M^2_d 15. M^3_g

16. Rhodanomys schlosseri DEPERET et DOUXAMI, M^2_d , "Grès & marnes gris à gypse", La Morges, banc 863, pl. 27.

17. Pseudotheridomys pusillus FAHLBUSCH, M^2_d , "Grès & marnes gris à gypse", Boudry-La Fabrique, banc 124, pl. 20.

18. Pseudotheridomys cf. pusillus FAHLBUSCH, "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 468, pl. 12.

Planche VIII

Eomys major FREUDENBERG, "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 468, pl. 12.

1. P^4_g 2. P^4_g 3. M^2_g 4. M^2_g 5. M^3_g 6. P^4_g 7. P^4_g 8. P^4_g 9. M_{1-2}_g 10. M_{1-2}_d
11. M^2_d 12. M_{1-2}_d 13. M^3_d 14. M^3_d

15. Eomys zitteli SCHLOSSER, M^{1-2}_g , "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 468, pl. 12.

Plesiosminthus aff. schaubi VIRET, "Grès & marnes gris à gypse", La Morges, banc 1001, pl. 25.

16. M^1_d 17. M^2_d 18. M^2_g 19. M^3_g 20. M^3_d 21. M^3_d 22. M^3_g 23. M^3_g 24. M^3_g 25. M^3_d

Planche IX a

Gliravus bruijni HUGUENEY, "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 468, pl. 12.

1. M_{1-2}_g 2. M_{1-2}_g 3. M^{1-2}_d 4. M^{1-2}_d

Pseudodryomys fugax HUGUENEY, "Grès & marnes gris à gypse", La Morges, banc 863, pl. 27.

5. M^1_d 6. M^3_d

7. Glirudinus glirulus (DEHM), M^1_g , "Grès & marnes gris à gypse", Boudry-La Fabrique, banc 124, pl. 20.

8. Palaeosciurus sp. M^1_d , "Grès & marnes gris à gypse", Boudry-La Fabrique, banc 124, pl. 20.

9. Dimylidae, cf. Dimylus sp. M^1_d , "Grès & marnes gris à gypse", Boudry-La Fabrique, banc 124, pl. 20.

Planche IX b

1. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 873, pl. 27.

2. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 979, pl. 27.

3. Scardinius sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 901, pl. 27.

4. Scardinius sp., "Grès et marnes gris à gypse", Massongy, banc 833, pl. 28.

5. Leuciscus sp. de grande taille, "Grès & marnes gris à gypse", Boudry, banc 209, pl. 29.

Chaque trait équivaut à 0,1 millimètre.

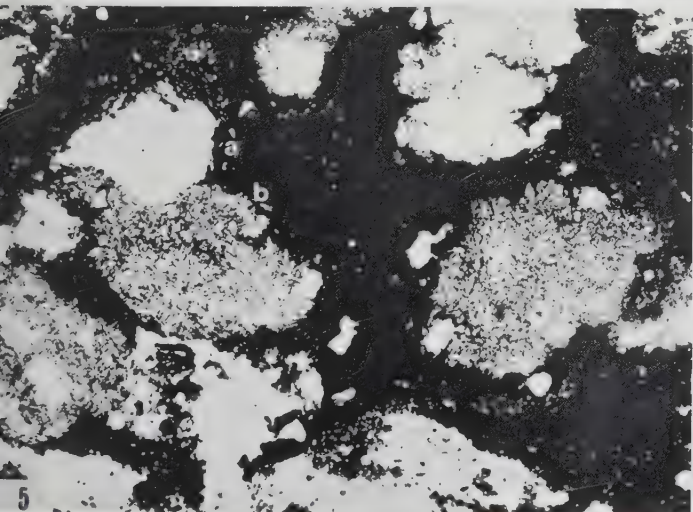
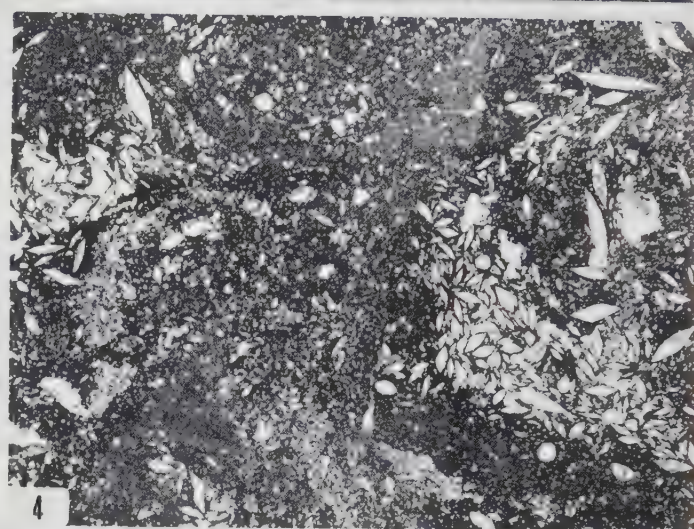
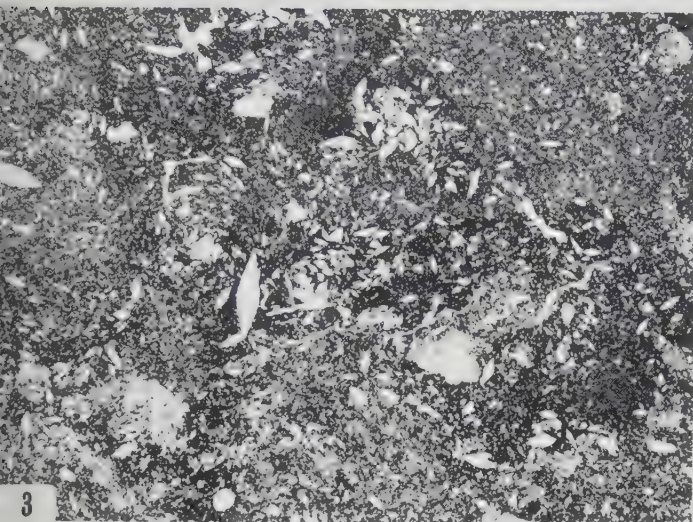
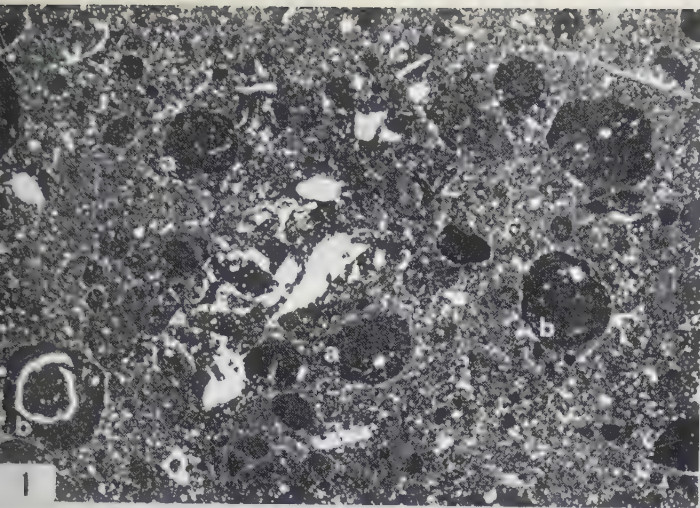
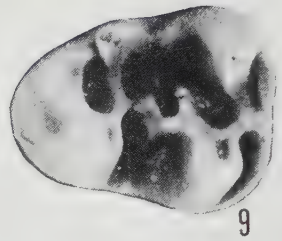
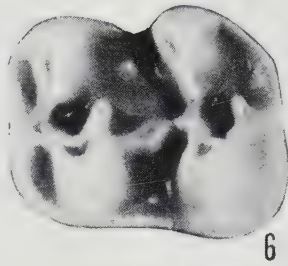
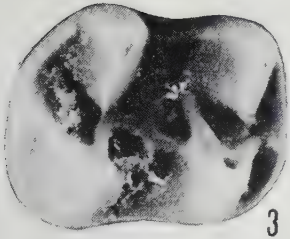
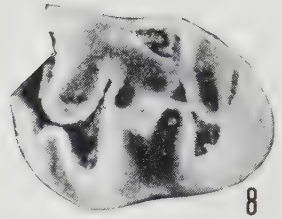
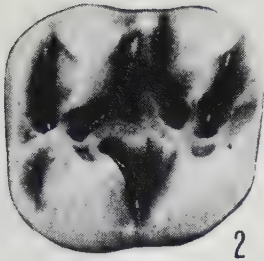
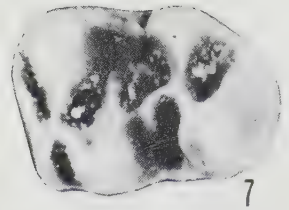
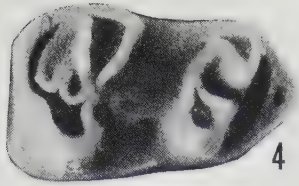
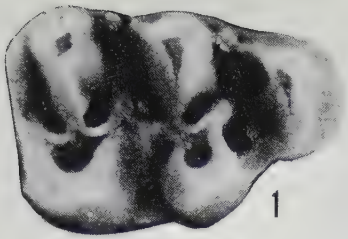
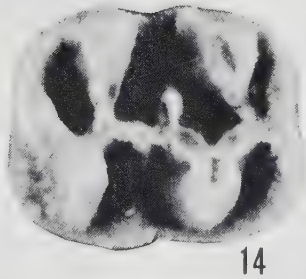
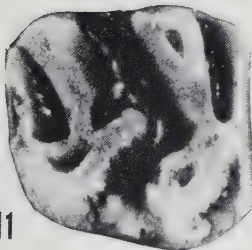
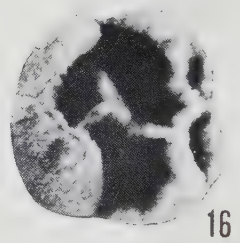
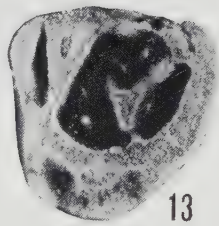
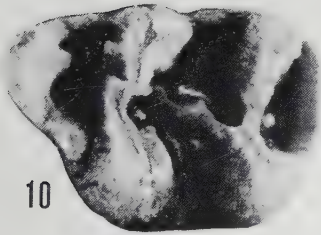
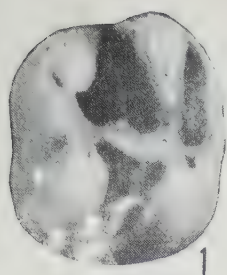


Planche VI



O 1mm

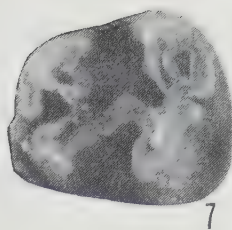




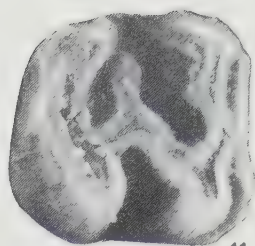
1



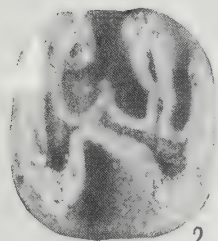
4



7



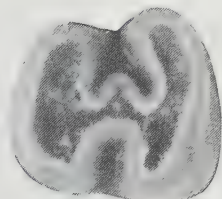
11



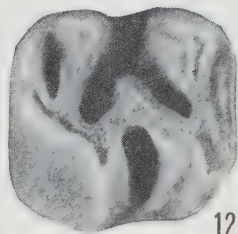
2



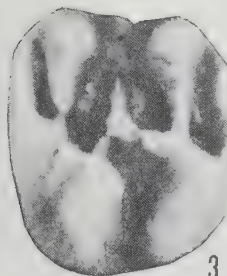
5



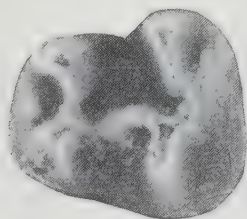
8



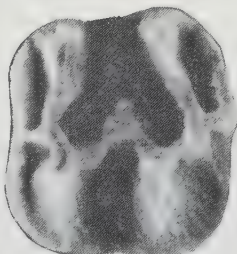
12



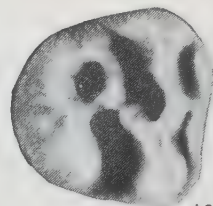
3



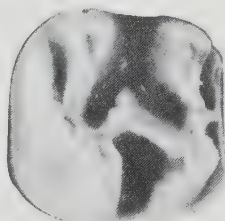
6



9



13



10

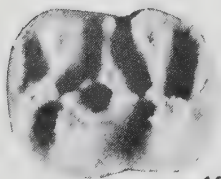


14

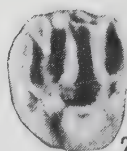
O 1mm



15



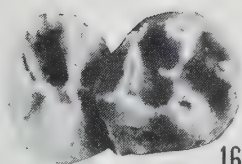
18



21



23



16



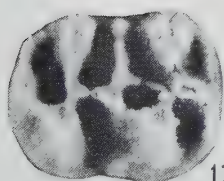
19



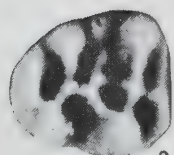
22



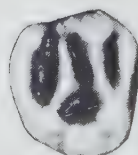
24



17



20



25

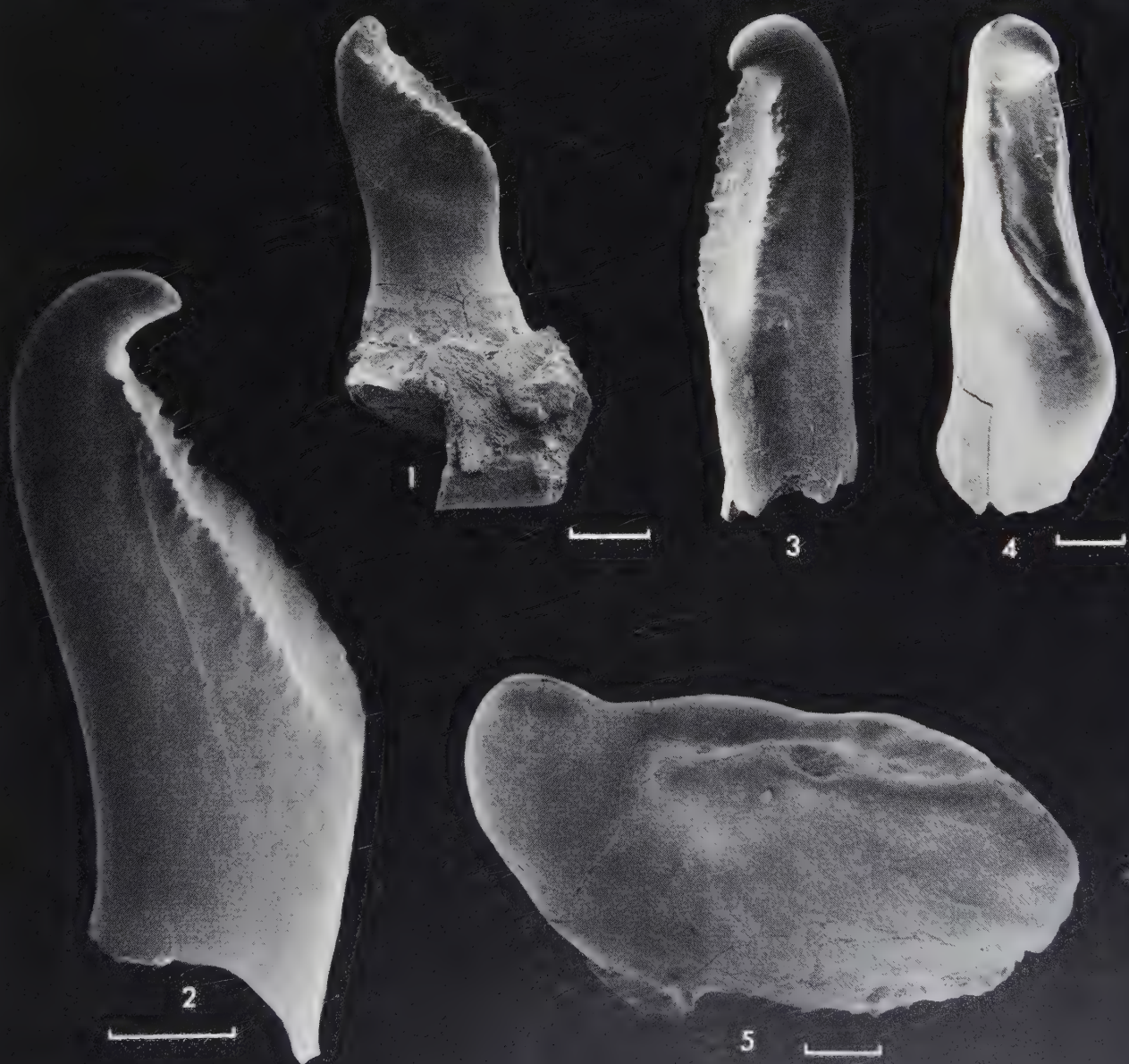
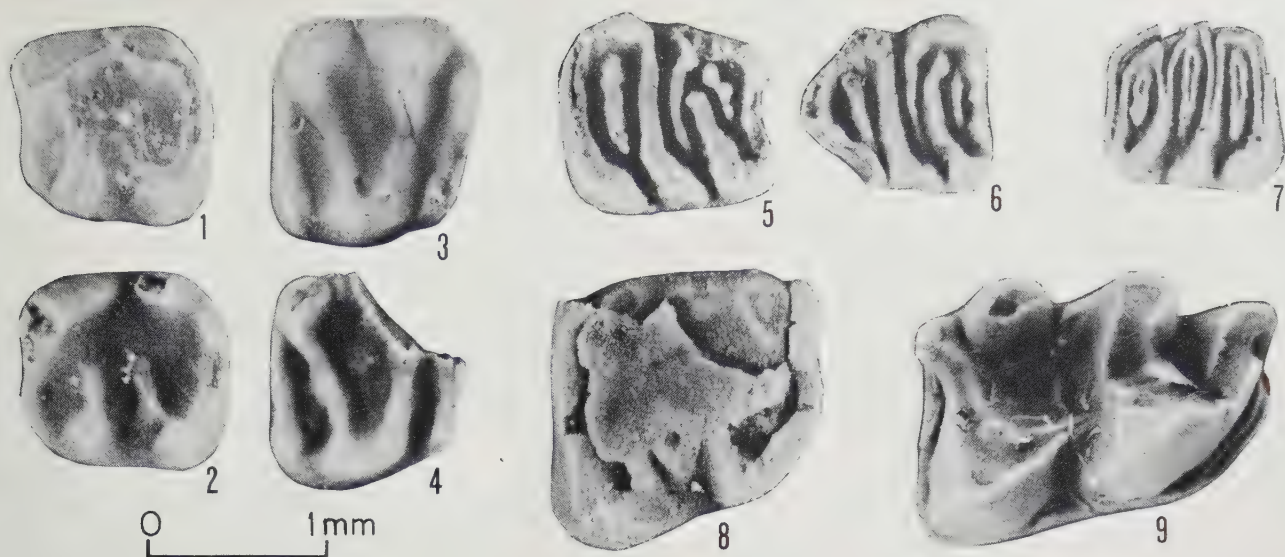


Planche X

1. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 957, pl. 25.
2. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 959, pl. 25.
3. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 979, pl. 27.
4. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", Massongy, banc 833, pl. 28.
5. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 873, pl. 27.
6. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 903, pl. 27.
7. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", Essertines, banc 650, pl. 21.
8. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 903, pl. 27.
9. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 957, pl. 25.
10. Leuciscus sp., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 903, pl. 27.

Chaque trait équivaut à 0,5 millimètre.

Planche XI

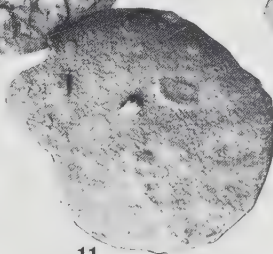
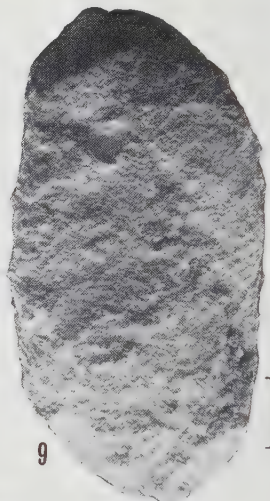
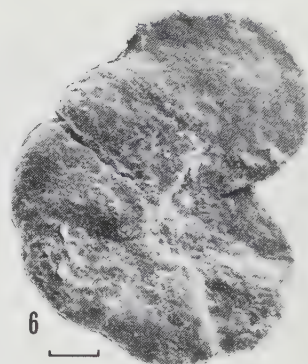
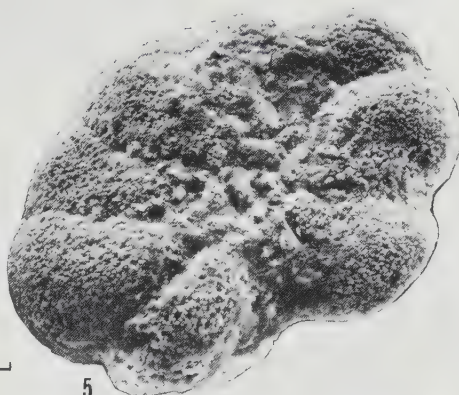
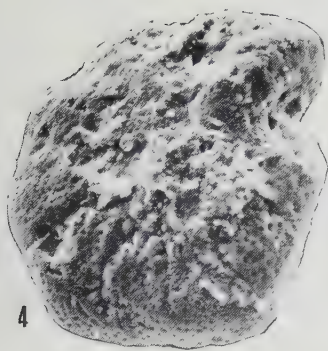
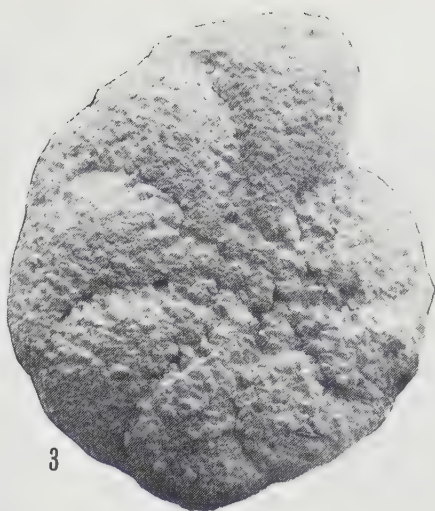
- 1-3. Protelphidium subgranosum (EGGER), "Grès et marnes gris à gypse", Nant d'Avanchet, Genève, banc 175, OERTLI 1956, pl. 12.
 - 1 & 3. Vues latérales
 2. Vue aperturale
4. Protelphidium subgranosum (EGGER), vue latérale oblique, "Grès et marnes gris à gypse", Essertines, banc 682, pl. 22.
5. Protelphidium subgranosum (EGGER), vue latérale oblique, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 1053, pl. 23.
- 6-7. Cyclammina sp. indet., vues latérales, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 972, pl. 25.
- 8-9. Miliolidae indet., vues latérales, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 1047, pl. 23.
10. Ammonia beccarii (LINNE), vue ombilicale, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 999, pl. 25.
11. Ammonia beccarii (LINNE), vue spirale et coupe équatoriale, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 999, pl. 25.
12. Ammonia beccarii (LINNE), aggrandissement de la coupe équatoriale de la fig. 11.

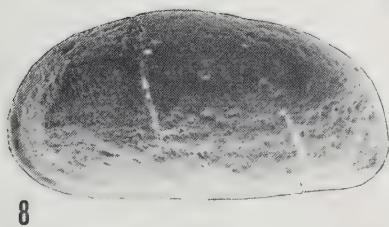
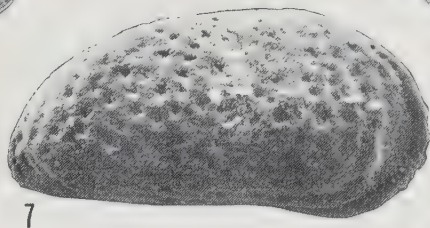
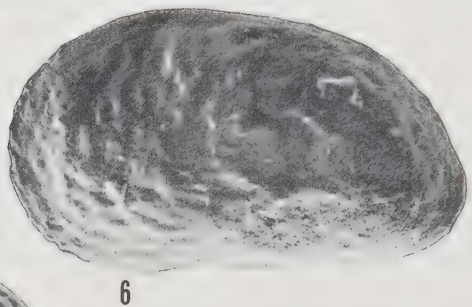
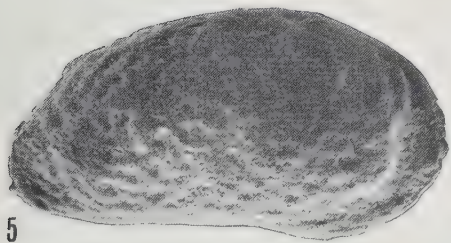
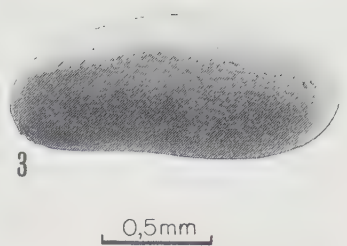
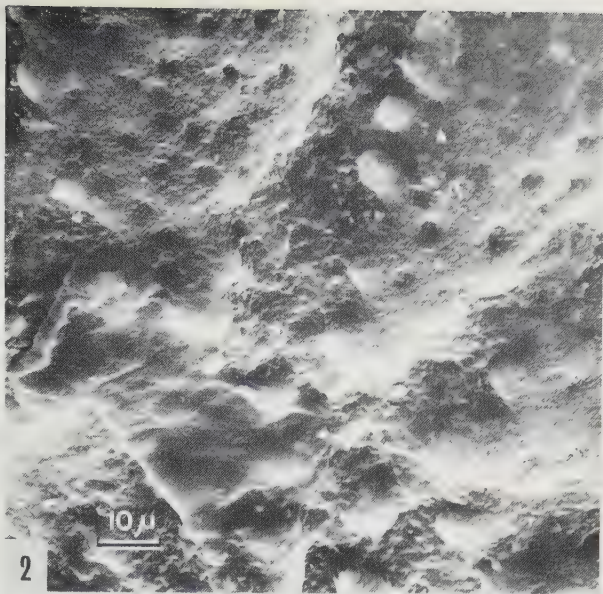
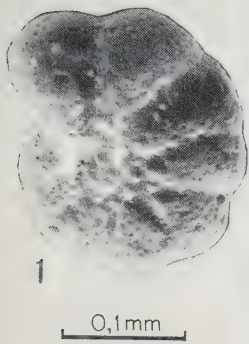
Chaque trait équivaut à 0,1 millimètre.

Planche XII

1. Protelphidium subgranosum (EGGER), vue latérale, "Grès et marnes gris à gypse", Belmont, banc 389, pl. 19.
2. Protelphidium subgranosum (EGGER), aggrandissement d'une partie de la région ombilicale de l'individu de la figure 1.
- 3-4. Moenocypris sp., valve gauche, vue latérale externe, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 979, pl. 27.
5. Hemicyprideis genavensis (OERTLI), valve droite ♂, vue latérale externe, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 1037, pl. 23.
6. Hemicyprideis genavensis (OERTLI), v. g. ♀, vue latérale ext., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 1037, pl. 23.
7. Hemicyprideis genavensis (OERTLI), v. d. ♂, vue lat. ext., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 959, pl. 25.
8. Hemicyprideis dacica dacica (HEJJAS), v. g., vue lat. ext., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 904, pl. 27.
9. Hemicyprideis sp., v. g., vue lat. interne. Noter les impressions musculaires. "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 1037, pl. 23.
10. Ilyocypris morphotype sans épines, v. g., vue lat. ext., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 998, pl. 25.
11. Ilyocypris morphotype à épines, v. d. ♀?, vue lat. ext., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 979, pl. 27.
12. Ilyocypris morphotype à épines réduites, v. g. ♂?, vue lat. ext., "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 979, pl. 27.







0,5 mm

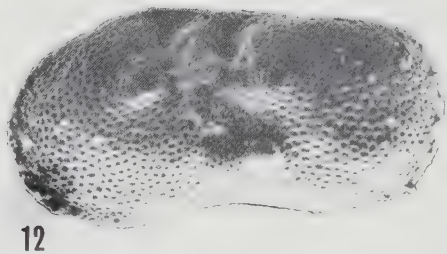
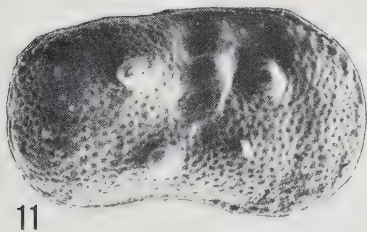
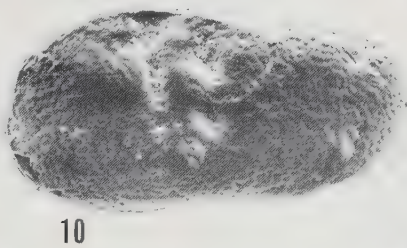
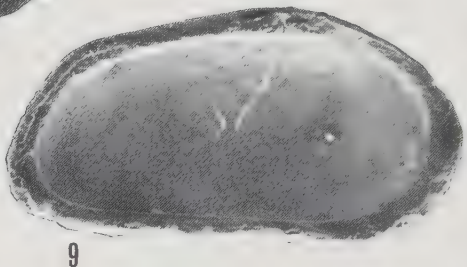


Planche XIII

1. Rantzieniella nitida GRAMBAST, vue latérale, "Grès et marnes gris à gypse", La Morges, banc 863, pl. 27.
2. Croftiella escheri (UNGER), vue lat., "Calcaires d'eau douce et dolomie", La Morges, banc 1099, pl. 15.
3. Rhabdochara praelangeri CASTEL, vue lat., "Calcaires d'eau douce et dolomie", Essertines, banc 531, pl. 14.
- 4-6. "Chara" lagenalis STRAUB, "Grès de Mathod", Valeyres-sous-Rances, banc 549, pl. 12.
 4. Vue du sommet.
 5. Vue latérale.
 6. Vue basale.
- 7-9. Sphaerochara parvula (R.&G.) HORN AF RANTZIEN, "Marnes bariolées s. str.", Valeyres-sous-Rances, banc 505, pl. 9.
 7. Vue du sommet.
 8. Vue latérale.
 9. Vue basale.
- 10-12. Sphaerochara granulifera (HEER), "Calcaires d'eau douce et dolomie", La Morges, banc 1095, pl. 15.
 10. Vue du sommet.
 11. Vue latérale.
 12. Vue basale.

Chaque trait équivaut à 0,1 millimètre.



S O M M A I R E

-	AVANT-PROPOS	1
1.	CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE	3
2.	HISTORIQUE	3
3.	DEFINITION DU TERME MOLASSE	5
4.	METHODES D'INVESTIGATION SEDIMENTOLOGIQUE	5
4.1	Introduction	5
4.2	Nomenclature lithologique	6
4.3	Echantillonnage	7
4.4	Méthodes de détermination des principaux composants	7
4.4.1	Sable	
4.4.2	Calcaire	
4.4.3	Argiles + Silts	
4.4.4	Gypse	
4.4.5	Représentation graphique et discussion des résultats	7
4.5	Couleurs	9
4.6	Minéraux lourds	9
5.	METHODES D'INVESTIGATION PALEONTOLOGIQUE	10
5.1	Introduction	10
5.2	Problèmes posés par la datation des séries continentales	10
5.3	Principaux groupes de fossiles des séries molassiques	10
5.4	Préparations paléontologiques	13
5.4.1	Roches argileuses et marneuses	13
5.4.2	Roches gréseuses	14
5.4.3	Techniques spéciales	14
6.	STRATIGRAPHIE	15
6.1	Introduction	15
6.2	Calcaires d'eau douce inférieurs	17
6.3	Marnes bariolées s.l.	20
6.3.1	Introduction	20
6.3.2	Marnes rouges	21
6.3.3	Grès de Loveresse	24
6.3.4	Calcaires à glauconie	30
6.3.5	Marnes rouges, voir 6.3.2	21
6.3.6	Grès de Goumoëns et Grès de Suscévaz	32
6.3.7	Marnes bariolées s.str.	35
6.3.8	Grès de Mathod	39
6.4	Calcaires d'eau douce et dolomie	43
6.5	Grès et marnes gris à gypse	57
7.	SEDIMENTOLOGIE	70
7.1	Epaisseur des bancs	70
7.1.1	Généralités	70
7.1.2	Histogrammes	71
7.1.3	Résultats et conclusions	73
7.2	Couleurs	75
7.3	Séquences et cycles	76
7.3.1	Généralités	76
7.3.2	Méthodes et définitions	76
7.3.3	Méthode des matrices des transitions appliquée à l'étude des séries stâmpiennes	79
7.3.4	Conclusions	81
8.	CONCLUSIONS	81
	BIBLIOGRAPHIE	83
	PLANCHES HORS TEXTE	95

